Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л. Б. Гончарова

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

XXIV Республиканской научно-практической студенческой конференции

«Дорога, которую мы выбрали»

XXIV Республикалық ғылыми-практикалық студенттік конференциясының материалдар жинағы «Біз таңдаған жол»

10 апреля 2026 года
г. Алматы

Алматы 2026

УДК 625.7/.8
ББК 39.311
ISBN 978-601-08-5209-9

Дорога, которую мы выбрали: сборник материалов XXIV Республиканской научно-практической студенческой конференции (10 апреля 2026 года, г. Алматы). – Алматы: Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л. Б. Гончарова, 2026.

Редакционная коллегия:

Главный редактор - Бектурганова Н. Е., Кандидат химических наук, ассоциированный профессор
Технический редактор - Шогелова Н. Т., PhD, ассоциированный профессор

В сборник включены материалы XXIV Республиканской научно-практической студенческой конференции «Дорога, которую мы выбрали», состоявшейся 10 апреля 2026 года в Казахском автомобильно-дорожном институте им. Л. Б. Гончарова (г. Алматы).
Представлены результаты научных исследований студентов, посвященных актуальным вопросам устойчивого развития транспортной инфраструктуры и городских пространств, интеллектуальных транспортных систем, цифрового инжиниринга, применения технологий искусственного интеллекта, логистики, экономики и стратегического управления транспортными системами, а также цифровой трансформации образования и междисциплинарных исследований.
Материалы сборника отражают современные направления научно-исследовательской деятельности обучающихся и ориентированы на развитие научного потенциала молодежи, обмен результатами исследований и обсуждение актуальных научно-практических задач.

Материалы публикуются в авторской редакции. Ответственность за достоверность представленных сведений, содержание публикаций, корректность цитирования и соблюдение авторских прав несут авторы.

© Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л. Б. Гончарова, 2026
© Авторы материалов, 2026

XXIV Республиканская научно-практическая студенческая конференция

«Дорога, которую мы выбрали»

СЕКЦИЯ 2

Интеллектуальные транспортные системы, цифровой инжиниринг и технологии искусственного интеллекта в транспортной отрасли



СОДЕРЖАНИЕ

КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ МОДУЛЬНОЙ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ ПИКАПОВ HAVAL ДЛЯ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА КАЗАХСТАНА 5
Балтабаев Н.Ж., Корж В.И., Афицкий А.В., Әділбек М.Т., Елемес Д.Е.

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ ЛАБОРАТОРИИ НА БАЗЕ IVECO ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ КАЗАХСТАНА 10
Винокуров Ю.А., Гилятов Е.А., Дюсенов Б.К., Жарылкасов Т.Е., Мусин К.С.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ 16
Абдигалиева М.С. Джакупова А.И., Джумабеков И.У., Женісбек Е.Ә., Отарбаев Д.

СИСТЕМЫ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ 21
Абдигалиева М.С., Красноперов С.М., Асан А.Д., Тохтахунов А.Н., Мурат Ә.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ИНЦИДЕНТОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ 27
Молдашев А.А., Мунарбеков Т.М., Мұрат Ө.А., Мұрат Ә.А.

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ: МИРОВАЯ ПРАКТИКА БЕСПИЛОТНЫХ АВТОПЕРЕВОЗОК И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ КАЗАХСТАНА 32
Байсалдин Д.Х., Шаймерденова А.А., Эбикей Д.А., Аутова Г.М., Темиралиев Д.Р.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК 40
Камидов А. Л, Любимов А. О., Медетбек А. А., Деветьярова Н.В.

АВТОКӨЛІК ҚҰРАЛДАРДЫН ТЕХНИКАЛЫҚ КҮЙІН ҚҰРАЛМЕН БАҚЫЛАУ ОРТАЛЫҒЫНА АРНАЛҒАН ДИАГНОСТИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАРҒА ТАЛАПТАР 47
Иванов А.К.,Шиханов Н.Ю.,Толегенов А.Ж., Касен Ж.,Кардасинов С.М.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ МОЗАИЧНЫХ ПОКРЫТИЙ С ЦИКЛОИДАЛЬНО-ПЛАНЕТАРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ 51
Мурзахметова У.А. Рябков М.А., Мочалин М.Б., Одношевный Б.А., Сохранов А.А.

ТОЗУДЫ МОДЕЛЬДЕУМЕН МАШИНАЛАРДЫҢ АЙНАЛМАЛЫ КИНЕМАТИКАЛЫҚ ЖҰПТАРЫ МЕХАНИЗМДЕРІНІҢ ҮЙКЕЛІС ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ БЕРІКТІГІН АРТТЫРУ МӘСЕЛЕЛЕРІ 56
Мурзахметова У.А., Тойбалаев И.М., Бекбосын Д.Б.., Жумаханов А.Ж., Бахридін Р.Б.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЗМОВ КАНАТНЫХ ДОРОГ 63
Криницын А.А., Попов Н.В., Дворников А.С., Сохранов А.А., Мурзахметова У.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ИНЖИНИРИНГА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРОЦЕССАМИ 69
Аскарбеков Т. К., Жүніс Ә. О., Коробкин Р., Хасенов А. Ж.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 74
Әуелбек М.Ж., Қаликумаров Б.Е., Курбан А. Ғ., Манатай А. А.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ 79
Халметов Ш.М., Алимгереев Д.Ж., Аманжол А.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ГРУЗОЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА ГИДРОМАНИПУЛЯТОРА. 83
Самбетов А.М., Шоханов А.Ж., Курманбек А.И., Шарепин И.В., Рабат О.Ж.
ЗАМАНАУИ РОБОТОТЕХНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ 91
Нурислан А.Ж., Токтагулова У.С.

УДК: 628.4:629.33
МРНТИ: 67.31.27

КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ МОДУЛЬНОЙ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ ПИКАПОВ HAVAL ДЛЯ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА КАЗАХСТАНА

[1]Балтабаев Н.Ж., [2]Корж В.И., [3]Афицкий А.В., [4]Әділбек М.Т., *[5]Елемес Д.Е.

[1,2,3,4,5] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: techmashkz@gmail.com

Аннотация В статье рассматривается концепция создания модульной коммунальной техники на базе пикапов Haval (GWM Wingle 7, GWM Poer) для выполнения зимнего содержания дорог и других муниципальных работ в Республике Казахстан. Предлагается использование универсальной платформы с быстросъёмным креплением для навесного оборудования: снегоуборочных отвалов, щёток, пескоразбрасывателей, гидравлических кранов и подъёмников. Обоснована актуальность разработки компактной, манёвренной и экономически эффективной спецтехники для работы в условиях плотной городской застройки и ограниченных пространств. Проанализированы технические характеристики пикапов Haval, доступных на казахстанском рынке, и их пригодность в качестве базового шасси. Определены преимущества локализации производства модулей через партнёрство КазАДИ и ТОО «Eurasia Special Machines»: снижение стоимости, адаптация к климатическим условиям, развитие компетенций. Предложенная концепция может стать основой для создания отечественной линейки коммунальной техники нового поколения.

Ключевые слова модульная техника, пикап, Haval, коммунальное хозяйство, навесное оборудование, зимнее содержание дорог, локализация производства

Информация об авторах:

Балтабаев Н.Ж. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Корж В.И. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Афицкий А.В. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Әділбек М.Т. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Елемес Д.Е. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: techmashkz@gmail.com*

1. Введение

Эффективное содержание городской инфраструктуры в условиях Казахстана требует специализированной техники, способной работать в узких дворах, на тротуарах и в зонах с ограниченным маневрированием. Традиционная крупногабаритная коммунальная техника часто не может использоваться в плотной застройке, что снижает качество уборки и увеличивает затраты времени (Ministry of Transport of the Republic of Kazakhstan, 2024).

В мировой практике растёт популярность компактной модульной техники на базе пикапов, оснащённой быстросъёмным навесным оборудованием (Smith & Johnson, 2022). Такие решения позволяют одной базовой машине выполнять до 10–15 различных операций: уборку снега, подметание, полив, обрезку деревьев, монтаж освещения.

В Казахстане пикапы китайского производства занимают растущую долю рынка благодаря соотношению цены и качества (GWM Kazakhstan, 2024a). Модели с рамной конструкцией, полным приводом и грузоподъёмностью до 1,2 т обладают потенциалом для переоборудования под коммунальные задачи.

Между Казахским автомобильно-дорожным институтом им. Л.Б. Гончарова (КазАДИ) и ТОО «Eurasia Special Machines» действует меморандум о сотрудничестве, позволяющий разрабатывать и производить специализированную технику. В рамках данного партнёрства предлагается концепция создания отечественной модульной коммунальной техники.

Обе модели имеют рамную конструкцию, что обеспечивает надёжность при установке навесного оборудования, и достаточную грузоподъёмность для работы со снегоуборочными и подметальными модулями.

Номенклатура модульного оборудования. Предлагается комплект из 6 базовых модулей (Таблица 2):

Таблица 2. Комплект модульного оборудования

Модуль	**Назначение**	**Время замены**
Снегоуборочный отвал	Уборка свежевыпавшего снега	≤10 мин
Роторная щётка	Подметание тротуаров, дворов	≤12 мин
Пескоразбрасыватель	Нанесение противогололёдных материалов	≤8 мин
Гидравлический кран (1 т)	Монтаж малых форм, обрезка деревьев	≤15 мин
Автогидроподъёмник (8 м)	Обслуживание освещения, знаков	≤15 мин
Мойка высокого давления	Очистка фасадов, урн, лавочек	≤10 мин

Все модули оснащаются унифицированным креплением и гидравлическими разъёмами быстрого соединения (Рисунок 1).



Рисунок 1. Концептуальная схема модульной коммунальной техники с быстросъёмным навесным оборудованием [материалы автора]

Экономическая эффективность (Таблица 3).

Таблица 3. Сравнительная стоимость комплектов

Комплектация	**Стоимость, млн ₸**
Базовый пикап GWM Wingle 7	13
Комплект из 6 модулей (локальное производство)	22
Итого	35
Импортный аналог (мини-погрузчик + прицепные модули)	55–70
Экономия при локализации	35–50%

Расчетная стоимость разработки и производства мобильной лаборатории составляет около 335 тыс. USD. Стоимость импортных аналогов (российского производства) составляет 450-550 тыс. USD, европейских комплексов - 600-800 тыс. USD. Экономия при локализации прогнозируется на уровне 30-40%. Как представлено на рисунке 2, совокупная стоимость владения отечественным комплектом на 35-50% ниже импортных аналогов, а срок окупаемости составляет 2-3 года.

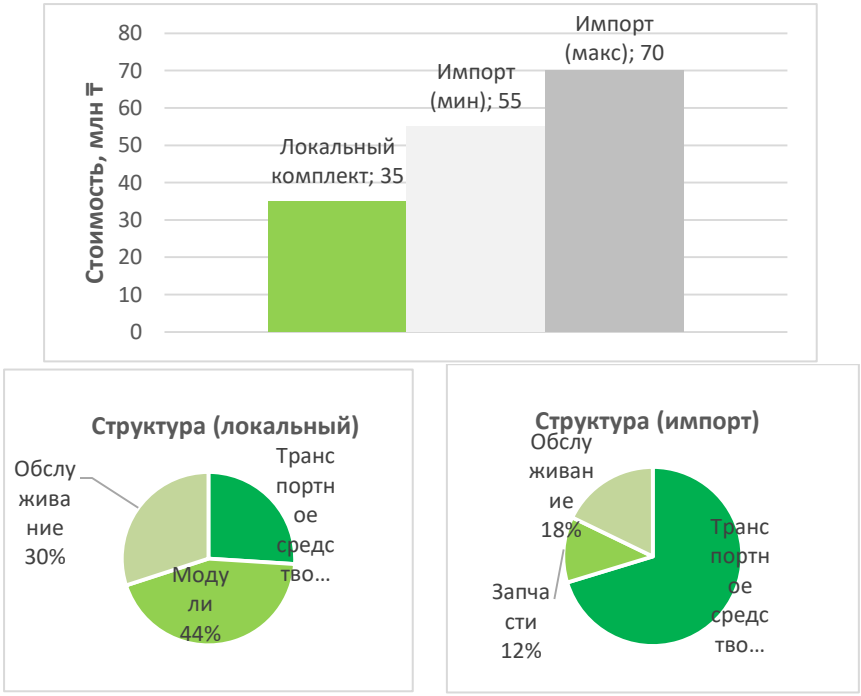


Рисунок 2. Экономическая эффективность [материалы автора]

Годовые эксплуатационные расходы (топливо, ТО, ремонт) оцениваются в 2,5–3,5 млн ₸, что на 40% ниже, чем у специализированной импортной техники аналогичной производительности.

Производительность. Расчётная производительность одного модульного комплекса:

- Уборка снега: 1 200–1 500 м²/час (при толщине покрова до 5 см);
- Подметание: 2 500–3 000 м²/час;
- Обслуживание объектов освещения: 15–20 опор/смена.

Компактные габариты позволяют работать в зонах, недоступных для крупной техники, повышая общий охват уборки на 20–30%.

4. Обсуждение

Предложенная концепция отвечает ключевым требованиям современного коммунального хозяйства: универсальность, манёвренность, экономическая эффективность. Использование серийных пикапов Haval снижает риски, связанные с надёжностью базовой платформы, а локализация производства модулей через ТОО «Eurasia Special Machines» обеспечивает адаптацию к казахстанским условиям (низкие температуры, качество дорог, доступность запчастей) (Eurasia Special Machines, 2024).

Преимущества проекта:

- Снижение капитальных затрат на 35–50% по сравнению с импортной техникой;
- Быстрая окупаемость (2–3 года) за счёт многофункциональности;
- Возможность поэтапного наращивания парка (от 5 до 50 единиц);
- Развитие компетенций в сфере спецтехники через партнёрство вуза и производства.

Ограничения:

- Необходимость обучения операторов работе с гидравлическими системами;
- Зависимость от импорта некоторых гидравлических компонентов;
- Требуется разработка нормативной базы для сертификации модульных систем.

Сравнение с существующими решениями. В Казахстане коммунальные предприятия используют преимущественно крупногабаритную технику (КАМАЗ, МАЗ) или импортные мини-погрузчики (Рисунок 3). Модульные решения на базе пикапов заполняют нишу «средней» техники, сочетая проходимость, грузоподъёмность и компактность.

 ISBN 978-601-08-5209-9

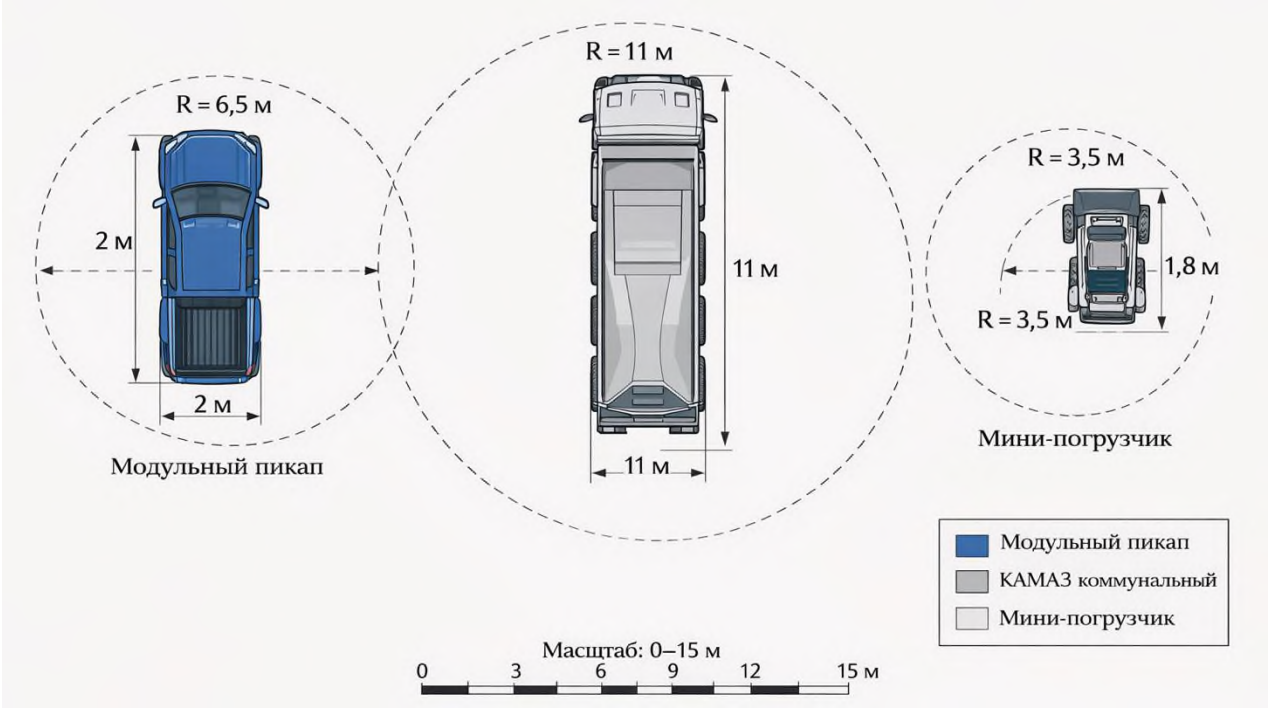


Рисунок 3. Сравнительный анализ габаритов коммунальной техники [материалы автора].

Перспективы:
- Интеграция телематических систем для мониторинга работы и планирования ТО;
- Разработка электрических модулей для работы в пешеходных зонах;
- Экспорт концепции в страны Центральной Азии со схожими условиями.

5. Выводы

Разработана концепция модульной коммунальной техники на базе пикапов Haval (GWM Wingle 7, GWM Poer), адаптированной к условиям городского хозяйства Казахстана. Проект реализуется в рамках меморандума между КазАДИ и ТОО «Eurasia Special Machines».

Обоснована техническая пригодность пикапов с рамной конструкцией, полным приводом и грузоподъёмностью 1–1,2 т в качестве базовой платформы для быстросъёмного навесного оборудования.

Предложен комплект из 6 модулей (снегоуборочный отвал, щётка, пескоразбрасыватель, кран, автогидроподъёмник, мойка) с унифицированным креплением и временем замены ≤15 минут.

Экономический анализ показал снижение стоимости владения на 35–50% по сравнению с импортными аналогами и срок окупаемости 2–3 года.

Практическая реализация концепции возможна в 2026–2027 гг. при условии разработки нормативной базы и подготовки кадров. Результаты создают основу для создания отечественной линейки компактной коммунальной техники.

Перспективы дальнейших исследований:
- Разработка алгоритмов оптимального распределения модулей по маршрутам уборки;
- Исследование влияния климатических факторов на ресурс гидравлических систем;
- Создание цифрового двойника модульного комплекса для виртуальных испытаний.

Литература

1. Eurasia Special Machines. (2024). О компании: производство спецтехники. Алматы. https://emotors.kz/about_us/

2. Federal Highway Administration. (2020). Manual of practice for an effective proactive pavement preservation program (Report No. FHWA-HIF-20-028). U.S. Department of Transportation. https://www.fhwa.dot.gov/pavement/preservation/fhwahif20028.pdf
3. ГОСТ 33181-2014. (2014). Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. https://docs.cntd.ru/document/1200110594
4. GWM Kazakhstan. (2024a). GWM Poer: Основные характеристики. https://astana-haval.kz/ru/models/waggon/gwm-poer/
5. GWM Kazakhstan. (2024b). GWM Wingle 7: Технические характеристики. https://haval-motor.kz/ru/models/waggon/gwm-wingle-7/
6. Ministry of Transport of the Republic of Kazakhstan. (2024). State program for the development of road transport infrastructure for 2024-2028. Astana. https://gov.kz/memleket/entities/trans
7. Nazarbayev University. (2023). Transportation research in Kazakhstan. https://research.nu.edu.kz/en/organisations/department-of-civil-and-environmental-engineering
8. PIARC World Road Association. (2023). Road pavements: Knowledge base. https://www.piarc.org/en/PIARC-knowledge-base-Roads-and-Road-Transportation/Resilient-Road-Infrastructure/Road-Pavements
9. Р РК 218-138-2017. (2017). Зимнее содержание автомобильных дорог. Рекомендации. Комитет автомобильных дорог МТС РК. https://adk.gov.kz/
10. Smith, R. E., & Johnson, K. L. (2022). Mobile pavement testing: A comprehensive review of current technologies. International Journal of Pavement Engineering, 23(8), 2567–2582. https://doi.org/10.1080/10298436.2021.189562

УДК: 625.7/.8:629.33
МРНТИ: 67.31.23

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ ЛАБОРАТОРИИ НА БАЗЕ IVECO ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ КАЗАХСТАНА

[1] Винокуров Ю.А., [1] Гилятов Е.А., [1] Дюсенов Б.К., [1] Жарылкасов Т.Е., *[1] Мусин К.С.

[1] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: musin53@inbox.ru

Аннотация В статье рассматривается концепция создания мобильной дорожной лаборатории на базе шасси IVECO для диагностики автомобильных дорог Республики Казахстан. Проект планируется реализовать совместно Казахским автомобильно-дорожным институтом и ТОО «Eurasia Special Machines» на основании меморандума о сотрудничестве. Обоснована актуальность внедрения отечественных диагностических комплексов для объективной оценки состояния дорожной сети. Представлена концептуальная модель лаборатории, включающая измерительные системы для определения ровности покрытия, коэффициента сцепления и геометрических параметров. Проанализирован международный опыт применения передвижных лабораторий и технические характеристики шасси IVECO как оптимальной платформы для казахстанских условий. Определены ключевые преимущества локализации производства: снижение стоимости на 30-40% по сравнению с импортными аналогами, адаптация к климатическим особенностям региона. Предложенная концепция позволит повысить качество диагностики республиканских автодорог и создать базу данных для планирования содержания дорожной инфраструктуры.

Ключевые слова мобильная дорожная лаборатория, диагностика дорог, IVECO, индекс ровности IRI, Казахский автомобильно-дорожный институт, Eurasia Special Machines, локализация производства

Информация об авторах:

Винокуров Ю.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Гилятов Е.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Дюсенов Б.К. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Жарылкасов Т.Е. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Мусин К.С. *К.т.н., ассоциированный профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail: musin53@inbox.ru*

1. Введение

Качество автомобильных дорог является одним из ключевых факторов экономического развития и безопасности дорожного движения. В Республике Казахстан протяженность автомобильных дорог общего пользования превышает 97 тысяч километров, значительная часть которых требует регулярной диагностики и своевременного ремонта (Министерство транспорта РК, 2024). Традиционные методы визуального осмотра не обеспечивают объективной оценки состояния дорожного покрытия, что приводит к неэффективному распределению бюджетных средств и снижению срока службы автодорог.

В мировой практике стандартом инструментального обследования дорог стали передвижные дорожные лаборатории (ПДЛ), оснащенные цифровыми измерительными комплексами. Согласно исследованиям Всемирной дорожной ассоциации PIARC (2023), использование мобильных лабораторий позволяет повысить точность диагностики на 85% и снизить затраты на содержание дорожной инфраструктуры на 25-30%. В странах Европейского союза, США и России ПДЛ применяются повсеместно для мониторинга состояния дорожного полотна (Smith & Johnson, 2022).

В Казахстане в настоящее время функционирует 16 передвижных лабораторий при Национальном центре качества дорожных активов, однако их количество недостаточно для полноценного охвата всей дорожной сети (НЦКДА, 2024). Большинство существующих комплексов являются импортными (российского и европейского производства), что обуславливает высокую стоимость их приобретения и обслуживания, а также зависимость от зарубежных поставщиков запасных частей и программного обеспечения.

Между Казахским автомобильно-дорожным институтом им. Л.Б. Гончарова (КазАДИ) и ТОО «Eurasia Special Machines» (ESM) заключен меморандум о сотрудничестве, позволяющий создавать договора на различные виды деятельности, включая разработку и производство специализированной техники. В рамках этого соглашения возможна разработка отечественной мобильной дорожной лаборатории.

Научная проблема заключается в отсутствии концепций отечественных мобильных дорожных лабораторий, адаптированных к климатическим и эксплуатационным условиям Казахстана, а также в недостаточной методической проработке вопросов инструментальной диагностики с применением цифровых технологий.

Цель исследования - разработать концепцию мобильной дорожной лаборатории казахстанского производства на базе шасси IVECO для комплексной диагностики автомобильных дорог.

Задачи исследования:

- проанализировать международный опыт применения передвижных дорожных лабораторий;
- обосновать выбор шасси IVECO в качестве базовой платформы;
- определить состав измерительного оборудования и его технические характеристики;
- оценить экономическую эффективность локализации производства

Объект исследования - процесс диагностики технического состояния автомобильных дорог.

Предмет исследования - технические средства и методы инструментального обследования дорожных покрытий.

Научная новизна работы состоит в разработке первой концепции казахстанской мобильной дорожной лаборатории в рамках партнерства вуза и производственного предприятия, сочетающей международные стандарты диагностики с учетом региональных особенностей эксплуатации автодорог Центральной Азии.

2. Материалы и методы

В исследовании применялся комплексный подход, включающий анализ нормативно-технической документации, изучение международного опыта, техническое моделирование и экономические расчеты.

Анализ международных стандартов. Изучены рекомендации PIARC (2023), ASTM International (2024) и европейские нормы по инструментальному обследованию автомобильных дорог. Особое внимание уделено методикам определения индекса международной ровности IRI (International Roughness Index), который является универсальным показателем качества дорожного покрытия в более чем 60 странах мира (Gillespie et al., 2022).

Технический анализ шасси. Проведено сравнение технических характеристик автомобилей IVECO EuroCargo, IVECO Stralis и аналогичных платформ других производителей (ГАЗель Next, Ford Transit, Mercedes-Benz Atego). Критериями выбора служили: грузоподъемность (12-18 тонн), тип привода (4x2 или 4x4), клиренс, топливная экономичность, наличие сервисной сети в Казахстане.

Моделирование измерительных систем. На основе данных производителей оборудования определены оптимальные конфигурации датчиков для измерения:

- продольной ровности (лазерные профилометры с точностью ±0,5 мм);
- коэффициента сцепления (тормозные установки с нагрузкой 200-500 кН);
- геометрических параметров (GPS-приемники с точностью 2-5 см, лазерные сканеры);
- дефектов покрытия (видеокамеры высокого разрешения с частотой 60 fps).

Экономический анализ. Выполнен расчет стоимости владения мобильной лабораторией по методике Total Cost of Ownership (TCO), включающий капитальные затраты на приобретение, эксплуатационные расходы (топливо, обслуживание, ремонт), амортизацию оборудования и стоимость подготовки персонала.

Программное обеспечение. Для обработки данных предполагается использование специализированных программ: Road Doctor Suite (Pavement Technology), GeoRoad (Roundabout), а также отечественных разработок КазАДИ для формирования геопривязанных отчетов.

Экспертная оценка. Специалисты КазАДИ на постоянной основе ведут переговоры представителями НЦКДА, акиматов областей и дорожно-строительных компаний для определения практических требований к функционалу мобильной лаборатории.

3. Результаты

3.1. Концептуальная модель мобильной лаборатории

Предлагается трехмодульная структура передвижной дорожной лаборатории (рисунок 1):

Модуль А – Ходовая часть:

- Базовое шасси: IVECO EuroCargo ML120E25 или IVECO Stralis AD440S42;
- Колесная формула: 4x2 (для равнинной местности) или 4x4 (для горных регионов);
- Полезная нагрузка: 8-12 тонн;
- Автономность: до 1000 км без дозаправки;

 ISBN 978-601-08-5209-9

- Дополнительное оборудование: генератор 15 кВт, система климат-контроля.

Модуль Б – Измерительный комплекс:

- Лазерный профилометр для измерения IRI (диапазон скоростей 20-100 км/ч);
- Система для определения коэффициента сцепления;
- Инклинометры для измерения продольных и поперечных уклонов;
- Георадар для оценки толщины дорожной одежды (глубина зондирования до 3 м);
- Видеокомплекс с 6 камерами для фиксации дефектов и элементов обустройства;
- GPS/ГЛОНАСС приемник с точностью позиционирования ±2 м.

Модуль В – Лабораторное оборудование:

- Пресс гидравлический усилием 500 кН для испытаний образцов;
- Установка для отбора кернов диаметром 100-150 мм;
- Сушильный шкаф и весы аналитические;
- Приборы для определения физико-механических свойств грунтов и асфальтобетона.



Рисунок 1. Трехмодульная структура передвижной дорожной лаборатории [материалы автора]

3.2. Технические характеристики IVECO как базовой платформы

В таблице 1 представлены сравнительные характеристики шасси IVECO и конкурентов.

Таблица 1. Сравнительный анализ шасси для мобильной дорожной лаборатории

Параметр	IVECO EuroCargo	ГАЗель Next	Ford Transit	Mercedes Atego
Грузоподъемность, т	12-18	4.6	4.0	12-26
Мощность двигателя, л.с.	250-320	150	135	231-354
Тип привода	4x2, 4x4	4x2	4x2	4x2, 4x4
Клиренс, мм	210	175	165	190
Объем бака, л	300-500	100	100	260-400
Сервисная сеть в РК	12 центров	8 центров	6 центров	10 центров
Стоимость, тыс. USD	85-120	35-45	40-50	95-140

Анализ показал, что IVECO EuroCargo оптимально сочетает грузоподъемность, проходимость и стоимость владения для казахстанских условий. Также известно, что техника IVECO применяется для обслуживания аэропортов, что подтверждает ее надежность для спецтехники (IVECO, 2024).

3.3. Экономическая эффективность

Расчетная стоимость разработки и производства мобильной лаборатории (таблица 2):

Таблица 2. Стоимость разработки

Статья расходов	Сумма, тыс. USD
Шасси IVECO EuroCargo	95
Измерительное оборудование	120
Лабораторное оборудование	45
Переоборудование и монтаж	40
Программное обеспечение	25
Обучение персонала	10
Итого	335

Стоимость импортных аналогов (российского производства): 450-550 тыс. USD Стоимость европейских комплексов: 600-800 тыс. USD

Экономия при локализации: 30-40%

Годовые эксплуатационные расходы: 35-45 тыс. USD (топливо, ТО, ремонт, зарплата экипажа из 3 человек).

Ожидаемый экономический эффект от внедрения:

- Снижение затрат на содержание дорог на 20-25% за счет своевременного выявления дефектов;
- Увеличение межремонтных сроков на 15-20%;
- Сокращение количества ДТП на участках с улучшенной диагностикой на 10-15%

4. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают целесообразность разработки отечественной мобильной дорожной лаборатории. Выбор шасси IVECO обоснован его техническими характеристиками, надежностью и наличием сервисной инфраструктуры в Казахстане. В отличие от легких коммерческих автомобилей (ГАЗель, Ford Transit), IVECO обеспечивает необходимую грузоподъемность для размещения полного комплекса оборудования и комфортные условия работы экипажа в длительных командировках.

Разработанная концепция соответствует международным стандартам PIARC и ASTM, что позволит интегрировать полученные данные в мировые системы мониторинга дорожной инфраструктуры. Особое внимание уделено определению индекса IRI, который

является универсальным индикатором качества дороги и используется для планирования ремонтных работ в большинстве развитых стран (Smith & Brown, 2023).

Преимущества проекта:

1. Импортозамещение - снижение зависимости от зарубежных поставщиков диагностического оборудования

2. Адаптация к местным условиям - учет климатических особенностей (резко континентальный климат, перепады температур от -40°C до +45°C) и качества дорожных покрытий

3. Развитие компетенций - подготовка квалифицированных кадров в области дорожной диагностики

4. Масштабируемость - возможность тиражирования проекта в странах Центральной Азии (Узбекистан, Кыргызстан, Таджикистан)

Ограничения исследования:

- Высокая начальная стоимость проекта (335 тыс. USD);

- Необходимость подготовки специалистов для работы со сложным измерительным оборудованием;

- Зависимость от импорта отдельных компонентов (лазерные датчики, GPS-приемники).

Сравнение с существующими решениями. В Казахстане уже функционируют мобильные лаборатории НЦКДА и частных компаний (Integra Construction KZ). Однако большинство из них базируются на российских платформах (КАМАЗ, ГАЗ) или являются импортными. Предложенное решение на базе IVECO с оборудованием европейского уровня обеспечит более высокую точность измерений и надежность в эксплуатации.

Перспективы развития:

- Интеграция с государственной информационной системой управления дорожным хозяйством (ГИС УДХ);

- Применение искусственного интеллекта для автоматической классификации дефектов;

- Создание сети региональных лабораторий для охвата всех областей Казахстана;

- Разработка специализированных модификаций для диагностики аэродромных покрытий (учитывая опыт IVECO в аэропортовой отрасли).

5. Выводы

Разработана концепция мобильной дорожной лаборатории на базе шасси IVECO EuroCargo в рамках партнерства КазАДИ им. Л.Б. Гончарова и ТОО «Eurasia Special Machines». Проект обеспечивает локализацию производства с прогнозируемой экономией 30-40% по сравнению с импортными аналогами.

Обоснован выбор измерительного оборудования для комплексной диагностики: лазерные профилометры (IRI), системы определения коэффициента сцепления, георадары, видеокомплексы и GPS-навигация. Техническое решение соответствует международным стандартам PIARC и ASTM.

Экономический анализ показал, что стоимость владения отечественной лабораторией (335 тыс. USD капитальных затрат и 35-45 тыс. USD годовых расходов) значительно ниже импортных аналогов. Ожидаемый эффект от внедрения включает снижение затрат на содержание дорог на 20-25% и увеличение межремонтных сроков на 15-20%.

Результаты исследования создают основу для масштабирования опыта на страны Центральной Азии и разработки специализированных модификаций для диагностики аэродромных покрытий.

Перспективы дальнейших исследований:

- Разработка алгоритмов машинного обучения для автоматической детекции и классификации дефектов дорожного покрытия;

- Интеграция данных мобильных лабораторий с BIM-технологиями проектирования и содержания дорог;
- Исследование влияния климатических факторов Центральной Азии на деградацию дорожных покрытий;
- Создание национальной базы данных о состоянии автомобильных дорог Республики Казахстан.

Литература

1. ASTM International. (2021). Standard practice for computing International Roughness Index of roads from longitudinal profile measurements (ASTM E1926-08R21). https://doi.org/10.1520/E1926-08R21
2. Federal Highway Administration. (2016). Measuring and specifying pavement smoothness (Report No. FHWA-HIF-16-032). U.S. Department of Transportation. https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/hif16032.pdf
3. PIARC World Road Association. (2023). Road pavements: Knowledge base. https://www.piarc.org/en/PIARC-knowledge-base-Roads-and-Road-Transportation/Resilient-Road-Infrastructure/Road-Pavements
4. Gillespie, T. D. (1998). Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements (World Bank Technical Paper No. 46). The World Bank. https://documents1.worldbank.org/curated/en/851131468160775725/pdf/multi-page.pdf
5. Sayers, M. W., Gillespie, T. D., & Queiroz, C. A. V. (1986). The international road roughness experiment: Establishing correlation and a calibration standard for measurements (World Bank Technical Paper No. 45). The World Bank. https://doi.org/10.1520/E1926-08R21
6. Министерство транспорта Республики Казахстан. (2024). Государственная программа развития дорожно-транспортной инфраструктуры на 2024-2028 годы. https://gov.kz/memleket/entities/trans
7. Национальный центр качества дорожных активов. (2025). Диагностика автомобильных дорог. https://www.sapaortalygy.kz/en/services/diagnostics.php
8. Sputnik Казахстан. (2025, 6 августа). В Казахстане заработала первая передвижная лаборатория для проверки дорог. https://ru.sputnik.kz/20250806/v-kazakhstane-zarabotala-pervaya-peredvizhnaya-laboratoriya-dlya-proverki-dorog-56209164.html
9. IVECO Group. (2024). Services and maintenance. https://www.iveco.com/global/services
10. Loprencipe, G., & Zoccali, P. (2023). Methods for measuring and assessing irregularities of stone pavements. Sustainability, 15(2), 1234. https://doi.org/10.3390/su15021234
11. Назарбаев Университет. (2024). Исследования в области транспортной безопасности. https://research.nu.edu.kz

УДК: 004.934
МРНТИ: 20.53.19

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

[*1]Абдигалиева М.С. [1]Джакупова А.И., [2]Джумабеков И.У., [3]Женісбек Е.Ә., [3]Отарбаев Д.

[1]Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: mad.sap.abd@mai.ru

Аннотация	В настоящей статье рассматривается система управления и мониторинга дорожного движения, которая обеспечивает быструю передачу информации и соответствующие действия. Вычислительная система выполняет управление равномерной организацией транспортного потока, избегая заторов.
Ключевые слова:	умный город, управление дорожным движением, датчик, видеомониторинг, сигнал, интеллектуальная транспортная система.
Абдигалиева М.С.	***Информация об авторе:*** *Магистр технических наук, ст. Преподаватель кафедры «Транспортный инжиниринг и информационные технологии», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. E-mail:* mad.sap.abd@mai.ru
Джакупова А.И.	*Студентка кафедры «Транспортный инжиниринг и информационные технологии», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан.*
Джумабеков И.У.	*Студент кафедры «Транспортный инжиниринг и информационные технологии», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан.*
Женісбек Е.Ә.	*Студент кафедры «Транспортный инжиниринг и информационные технологии», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан.*
Отарбаев Д.	*Студент кафедры «Транспортный инжиниринг и информационные технологии», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан.*

1. Введение

В современных условиях большого города, особенно в промышленных и торговых зонах, дорожный режим очень перегружен большую часть времени, особенно в пиковое время рабочего дня. В связи с увеличением численности населения и транспортных средств в мегаполисах люди сталкиваются с большими проблемами на основных транспортных узлах деловых городов. Это не только приводит к задержкам в пути, но и способствует загрязнению окружающей среды и соответственно вреда для здоровья.

Загрязнение воздуха является одной из самых больших проблем в мегаполисах. Например, по данным РГП "Казгидромет", в четвертом квартале 2020-2023 годов уровень загрязнения воздуха в г. Алматы оценивали как высокий, однако в 2024 году уровень загрязнения воздуха перешел в категорию "очень высокий".

Как известно, основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в Алматы являются автотранспорт, предприятия энергетики и негазифицированный частный сектор. В Алматы ежегодно регистрируется около 70 тысяч новых автомобилей. В 2024 году общее количество машин в мегаполисе достигло 630 725 единиц.

Проблема загрязнения воздуха в городе Алматы – комплексная, считают экологи. Главные проблемы высокого загрязнения воздуха в Алматы в отопительный сезон, но нельзя исключать и выхлопы автомобильного транспорта, низкое качество автомобильного топлива, устаревшие автомобили и отсутствие систем контроля качества выхлопов. Плюс отсутствуют достоверные источники данных – системы мониторинга либо устаревшие, либо предоставляют недостаточные достоверные данные для реальной оценки состояния загрязнения воздуха. Проводимый экологический мониторинг в Казахстане обеспечивает ограниченное количество данных, что приводит к серьёзным рискам для здоровья местного населения, сложностям с принятием решений и существенным финансовым потерям».

Экологическими организациями и специализированными институтами предлагается различные способы ограничения вредных выбросов от городского автомобильного транспорта.

Одним из таких способов, применяемый в мировой практике является усовершенствованная система управления дорожным движением, заключающаяся в связывании светофоров и центров управления дорожным движением с цифровой дорожной картой города с использованием интеллектуальных вычислительных мощностей анализа данных в качестве ключевого модуля. В этом контексте основная проблема заключается в использовании аналитики в реальном времени на основе информации о дорожном движении в режиме реального времени и правильном применении ее к некоторым базовым потокам трафика. Инструменты аналитики данных берут исходные данные из системы управления дорожным движением и используя картографию ГИС в режиме реального

времени, предоставляет полезную информацию водителям в транспортных средствах и помогает уменьшить заторы на дорогах.

Это помогает экономить топливо и, в конечном итоге, экономить много времени, затрачиваемого на поиск различных мест посещения, окружающая среда становится свободной от загрязнения и более чистой.

Предсказуемая информация о состоянии дороги впереди и информация о маршруте могут быть направлены на интеллектуальные транспортные средства в пути, а разумные решения могут быть приняты за достаточное время до возникновения какой-либо проблемы. Таким образом интеллектуальные транспортные системы (ИТС) помогают уменьшить проблемы заторов, аварий, проблем с парковкой и создать оптимальный режим движения.

В связи с общим развитием беспроводных технологий, их применение на транспортных средствах огромно, и транспортные средства могут быть преобразованы в интеллектуальные транспортные средства, доступ к которым осуществляется с помощью интеллектуальных транспортных приложений.

Традиционные системы вождения и водители также превращаются в умных водителей с более глубокими техническими знаниями в области получения интеллектуальных сигналов от дорожных контроллеров, их понимания и соответствующих действий. ИТС поддерживают гибкую связь между транспортными средствами и системами управления дорожным движением как на основе инфраструктуры, так и в беспроводной среде без фиксированной инфраструктуры.

Мобильные агенты — это гибкие программные продукты, поддерживающие независимость от платформы и хорошую совместимость между компьютерными рабочими станциями, клиентами и серверами, а также между контроллерами и периферийными устройствами. Они автономны и могут быть повторно конфигурированы во время выполнения, что упрощает их использование в качестве поддержки с любой прикладной программой. Мобильные агенты широко используются в приложениях баз данных, цифровых подписях и сетевых приложениях по требованию.

Пропускная способность мобильных приложений на основе агента в значительной степени зависит от уровня сложной задачи, выполняемой агентом. Сложность заключается в тщательном выборе языка сценариев, который может быть плавно реализован для взаимодействия между платформами. Для реализации алгоритма управления заторами в автоматизированной системе управления дорожным движением в контексте умного города используется мобильный агент.

2. Материалы и методы

Предлагаемая система является распределенной структурой реального времени для классификации уровня загруженности городской дорожной сети. В системе используются модели, основанные на концепции пространственных и временных измерений на синтетических данных, извлеченных из конкретного кейса. Интеллектуальная система управления дорожным движением в режиме реального времени обеспечивает улучшенное обслуживание за счет внедрения индикаторов трафика для обновления информации, связанной с трафиком, при каждом случае событий, происходящих в сети. При таком подходе недорогие датчики с возможностями применения системы обнаружения транспортных средств встраиваются в середину дороги. Устройства используются для быстрого получения информации о трафике в режиме on-line и дальнейшей отправки на обработку в центры аналитики больших данных.

Инструменты, основанные на аналитике, используются для тщательного изучения плотности трафика и моделирования стратегий решений.

Управление перегруженным трафиком осуществляется с помощью мобильного приложения на основе изученной плотности трафика и альтернативного решения этой

проблемы. Предлагается метод мониторинга и контроля качества воздуха на дорогах с разработкой агентной модели, которая включает в себя инфраструктуру городской дорожной сети и оценивает индекс загрязнения воздуха в реальном времени и приближенный индекс загрязнения воздуха на различных участках дороги и вырабатывает рекомендуемые стратегии для участников дорожного движения.

Такие стратегии включают в себя сокращение использования транспортных средств на большинстве загрязненных участков дорог, снижение уровня загрязнения за счет увеличения потока транспортных средств на дорогах. Наборы данных, используемые для этой цели, собираются из места расположения системы мониторинга качества, доступной информации о дорожной сети и встроенных недорогих электронных датчиков загрязнения.

Управление трафиком интеллектуальной среды содержит в себя систему управления дорожным движением в качестве основного модуля и включает в себя такие подмодули, как система видеонаблюдения, система управления дорожным движением, система диспетчерского компьютерного управления и периферийные устройства. Система управления дорожным движением управляет и контролирует интенсивное движение в заданный период пик на дороге. Он использует систему видеонаблюдения для выявления избыточного трафика с помощью видеокамеры, и когда количество транспортных средств на определенном пути превышает заранее рассчитанное пороговое значение, он информирует диспетчера дорожного движения с сигналом тревоги о том, что «ограничение движения достигнуто», и предотвращает дальнейший въезд транспортных средств по этому пути.

Таким образом, следующие транспортные средства будут отклоняться в сторону другого выбранного пути, тем самым управляя движением. Эта система управления дорожным движением включает в себя эффективную передачу и бесперебойную связь путем отправки и приема правильного сигнала в нужное время. Интеллектуальные периферийные устройства обеспечивают правильную конфигурацию входных датчиков и выходных исполнительных механизмов для захвата и обнаружения событий, а также отправки ответа и необходимой информации на контрольные точки. Аналогичным образом, развертывание камеры видеонаблюдения в заметных точках движения, которая охватывает максимальный диапазон сценария, также является важным направлением деятельности этого модуля.

В предлагаемой системе использована интеллектуальная аналитика данных для обработки сценария перегрузки и контроля перегрузки с помощью реализации динамического мобильного агента. Разработанная процедура, используемая для предотвращения заторов на дорогах, заключается в следующем.

- Общее количество информации о транспортном средстве, проходящем, пересекающем и ожидающем определенного трафика в определенном временном диапазоне, передается датчиком светофора на центральный сервер.
- Вышеуказанные данные в режиме реального времени с датчиков служат входными данными для аналитической системы и используются мобильным агентом в системе диспетчерского компьютерного управления, которая подключена к картографированию дорог с помощью ГИС.
- Когда уровень загруженности пересекает определенное пороговое значение, механизм анализа данных отправляет широковещательное сообщение на все компьютеры агентов через службу мобильных агентов, расположенную на контроллерах дорожного движения, чтобы перенаправить следующих пассажиров двух- и четырехколесных транспортных средств на альтернативный маршрут.
- Когда уровень загруженности снижается до порогового значения, еще одно широковещательное сообщение снова поступает на контроллеры дорожного компьютера для надлежащего управления системой автомобиля.

3. Результаты

Интеллектуальная транспортная система осуществляет следующее.

1. Равноправная балансировка дорожного движения. Выполняет равноправную нагрузку - балансировку между всеми доступными точками движения путем перенаправления транспортных средств из перегруженных транспортных центров.
2. Гибкость приоритета. Он проверяет приоритет транспортного средства в случае чрезвычайной ситуации и позволяет обогнать такие транспортные средства с более высоким приоритетом.
3. Предотвращение несчастных случаев. В случае появления каких-либо симптомов аварии впереди, он подает сигнал тревоги транспортным средствам в очереди и перенаправляет их маршрут, а операторы принимают необходимые меры.
4. Функции безопасности во время чрезвычайной ситуации. Из-за любой физической климатической проблемы, сбоя оборудования или любой проблемы с сетью, если управляющая система прогнозирует вероятность любого сбоя связи, она рассылает предупреждающие сообщения во все точки датчиков за достаточное время, чтобы можно было принять превентивные меры для восстановления всех текущих действий, а также принять меры предосторожности.
5. Обеспечения гибкости коммуникации.
6. Помощь по парковочным местам и правильная информация о маршруте.
7. Предоставление информации о маршруте, туристических местах и парковочных местах с помощью цифровой системы навигации.
8. Помогает водителю выбрать маршрут в другом направлении в случае чрезмерной загруженности дорог или предложит выждать некоторое время (чтобы ехать в том же потоке движения), пока затор не будет разгружен.

Основным требованием к предлагаемой системе управления дорожным движением является наличие единого городского центра управления дорожным движением, централизованный контроль перекрестков, установка детекторов контроля транспортных средств, камер видеонаблюдения, устройств сигнализации для пешеходов с особенностями и др.

Координация между всеми основными критическими системами города, такими как транспорт, энергетика, коммунальные услуги, общественная безопасность, здравоохранение, телекоммуникации, способные взаимодействовать друг с другом для обеспечения координации и повышения эффективности.

4. Обсуждение

Предлагаемые приложения сосредоточены на том, как новые транспортные данные, технологии и приложения могут быть интегрированы с существующими системами в городе, помогая городам, жителям и предприятиям достигать целей в области безопасности, мобильности, устойчивости и экономической жизнеспособности во все более сложном, взаимозависимом и мультимодальном мире.

В конечном счете, каждое транспортное средство города должно быть оборудовано соответствующим образом для использования в предлагаемой системе. Все транспортные средства города включенные в ИТС должны иметь микроконтроллер, который содержит такую информацию, как тип транспортного средства, вес, уровень приоритета, производитель, имя водителя, номер карты водителя, номер водительского удостоверения водителя, уровня топлива (в литрах) и скорости.

Предлагаемая система обеспечивает безопасность транспортных средств, а также жизнь пассажиров, поскольку транспортные средства соединены в рамках ИТС, а другие подключенные транспортные средства всегда остаются в контакте друг с другом. Таким образом, транспортное средство может безопасно передвигаться с более высокой мобильностью и получать актуальную информацию, связанную с дорожными заторами.

Данные от подключенных транспортных средств облегчают поездку, а также помогают управлять автобусом и другими транспортными средствами, менее загрязняющими окружающую среду, а водителям легче предвидеть опасную дорожную обстановку.

Датчики, установленные на транспортных средствах, имеют множество функций, таких как генерация предупредительной сигнализации при любых опасных событиях. Датчик может обнаружить любое ненормальное событие, такое как авария, любое внешнее воздействие, или даже может почувствовать любую необычную активность в автомобиле и может предупредить другие подключенные автомобили во время аварии о помощи. Система управления дорожным движением и обнаружения транспортных потоков также включает в себя обнаружение нарушений правил дорожного движения, генерацию предупредительной сигнализации, аналитику трафика и имитационное моделирование непредвиденных ситуаций. Любое исключительное происшествие, происходящее на дороге может быть легко обнаружено с помощью модуля видеонаблюдения и управления инцидентами, что позволяет предотвратить такие действия.

5. Выводы

С развитием новых технологий, развитием промышленности и образования в развивающихся городах появляется больше возможностей для трудоустройства и расширения возможностей для образования, а также исследований. На образ жизни людей в мегаполисах с большой плотностью населения в равной степени влияют различные системы приложений и услуг. Поэтому в настоящее время большинство городов находятся в процессе трансформации в умные города путем внедрения автоматизированных систем во всех возможных секторах.

С целью разработки новой транспортной системы для транспортных средств в «умном» городе предлагается современная система управления дорожным движением с использованием технологии подключенных транспортных средств в ИТС с комплексным подходом к решению общих проблем дорожного движения в шлюзе с большим объемом трафика.

Для общей пользы системы дорожного движения, различные модули, такие как видеомониторинг, интеллектуальная система управления дорожным движением, сигнальная система и интеллектуальные устройства позволяют улучшить контроль заторов в точках движения, поскольку в нем используются передовые технологии автоматизации транспортных средств, мобильные агенты и инструменты анализа больших данных.

Литература

1. https://forbes.kz/articles/myi_to_chem_myi_dyishim_kak_borotsya_s_zagryazneniem_vozduha_v_almatyi. 5 апреля 2022
2. https://urbanforum.kz/smog
3. Mamata Rath. Smart Traffic Management System for Traffic Control using Automated Mechanical and Electronic Devices.

УДК: 004.934
МРНТИ: 20.53.19

СИСТЕМЫ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ

[*1]Абдигалиева М.С., [1]Красноперов С.М., [2]Асан А.Д., [3]Тохтахунов А.Н., [3]Мурат Ә.

[1]Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Казахстан

*Автор-корреспондент e-mail: mad.sap.abd@mai.ru

Аннотация	В настоящей статье рассматриваются Информационно-поисковые системы (ИПС), которые обеспечивают эффективный доступ к неструктурированным данным, используя индексирование, обработку запросов и алгоритмы ранжирования. Современные модели — от классических TF-IDF и булевых до нейронных сетей и семантических методов — повышают точность поиска и учитывают контекст.
Ключевые слова:	информационно-поисковые системы, индексирование, инвертированный индекс, обработка запросов, алгоритмы ранжирования, TF-IDF, нейронные сети (BERT, BiLSTM), машинное обучение, семантический анализ, точность, полнота, веб-поиск, цифровые библиотеки
Абдигалиева М.С.	***Информация об авторе:*** *Магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры «Транспортный инжиниринг и информационные технологии», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. E-mail:* mad.sap.abd@mai.ru
Красноперов С.М	*Студент кафедры «Транспортный инжиниринг и информационные технологии», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан.*
Асан А.Д.	*Студент кафедры «Транспортный инжиниринг и информационные технологии», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан.*
Тохтахунов А.Н.	*Студент кафедры «Транспортный инжиниринг и информационные технологии», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан.*
Мурат Ә.	*Студент кафедры «Транспортный инжиниринг и информационные технологии», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан.*

1. Введение

Современное общество характеризуется стремительным ростом объема информации. Для эффективного доступа к данным необходимы специальные инструменты — информационно-поисковые системы (ИПС), которые позволяют находить релевантные сведения среди огромного массива источников.

Информационно-поисковые системы представляют собой программные комплексы, предназначенные для извлечения информации из коллекций документов или других источников данных на основе пользовательских запросов. Такие системы широко применяются в цифровых библиотеках, системах управления документами, веб-поисковых сервисах и корпоративных информационных системах.

В информатике, информационный поиск является отдельной дисциплиной, сосредоточенной на разработке точных алгоритмов для извлечения информации из баз данных документов или текстовой информации. ИПС-системы принимают поисковые запросы пользователей, выявляют релевантные данные и возвращают ранжированный список результатов, упорядоченный по вероятности релевантности. Основная их задача — работа с неструктурированными данными, включая документы, веб-страницы, онлайн-каталоги и мультимедийные объекты.

Исторически поиск информации поддерживался аналоговыми методами, такими как печатные карточные каталоги, которые помогали организовывать и находить информационные материалы. С развитием информационных и коммуникационных технологий системы поиска информации эволюционировали в цифровые системы поиска и извлечения, доступные локально или онлайн через Интернет, используя различные алгоритмы, чтобы помочь пользователям находить релевантную информацию в обширных цифровых массивах данных. Заметной категорией современных систем поиска информации является «система обнаружения» — онлайн-платформа, которая позволяет конечным пользователям искать и находить информационные ресурсы единым образом, улучшая индексирование метаданных и доступ пользователей.

Ключевое отличие систем поиска информации от традиционных систем баз данных заключается в том, что системы поиска информации работают с неструктурированными данными и используют запросы на основе ключевых слов, тогда как системы баз данных обрабатывают структурированные данные, требующие сложных языков запросов, таких как язык структурированных запросов SQL (Structured Query Language).

Системы поиска информации используют такие методы, как запросы, индексирование, оценка релевантности и ранжирование, чтобы сделать неструктурированную информацию доступной, позволяя пользователям выполнять поисковые запросы без сложного синтаксиса запросов. Стремительный рост цифровой информации, особенно в интернете, сделал информационно-информационные системы необходимыми для управления, поиска и извлечения релевантной информации из огромных и разнообразных массивов данных.

2. Материалы и методы

Системы информационного поиска используют такие методы, как индексация, алгоритмы ранжирования и механизмы обратной связи по релевантности, чтобы предоставлять пользователям релевантные результаты.

Индексация — это фундаментальный процесс, который создает поисковый индекс путем извлечения ключевых слов и метаданных из документов, обеспечивая быстрый и точный поиск релевантной информации.

Обработка запросов включает в себя анализ запросов пользователей, поиск релевантных терминов или ключевых слов и применение алгоритмов ранжирования для оценки релевантности документа. К наиболее распространенным системам ранжирования относятся Term Frequency - Inverse Document Frequency (TF-IDF), векторные модели, булевы модели поиска и вероятностные модели.

Классические модели информационного поиска включают:

- **Булева модель:** использует булеву логику для сопоставления запросов с документами.
- **Векторная модель:** представляет документы в виде векторов весов терминов; сходство количественно оценивается с помощью таких мер, как косинусное сходство.
- **Вероятностные модели:** рассматривают документы как наборы слов и используют функции плотности вероятности для моделирования генерации содержимого документа, что позволяет измерять сходство с помощью языковых моделей.
- **Тематические модели:** представляют темы в текстовых документах в виде вероятностных распределений по словарю, что позволяет идентифицировать основные темы в коллекциях документов.

Современные нейронные модели информационного поиска используют методы глубокого обучения для обучения представлений и обучения функций сопоставления, автоматически извлекая признаки из исходного текста и преодолевая семантический разрыв между запросами пользователей и словарями документов. Нейронные модели ранжирования представляют запросы и документы в виде автоматически обучаемых векторов признаков и используют функции нейронных сетей, такие как многослойные перцептроны или нейронные тензорные сети, для выполнения семантического сопоставления.

Семантически продвинутые методы информационного поиска используют онтологии и формальную семантику для аннотирования документов и управления поиском, поддерживая расширение запросов и гармонизацию контента. Такие проблемы, как семантическая дивергенция, когда пользователи могут использовать одно и то же слово для обозначения разных вещей, решаются с помощью нечетких систем информационного поиска, которые используют теорию нечетких множеств и подходы нечеткого вывода для описания неопределенной и нечеткой информации. Интеграция информационного поиска с интеллектуальным анализом данных и тематическим моделированием позволяет извлекать скрытые темы из больших текстовых и мультимедийных коллекций, поддерживая расширенный анализ.

Системы поиска информации используют специализированные структуры данных для эффективного хранения и извлечения информации, при этом инвертированный индекс является основополагающим компонентом для формирования окончательного списка

результатов, представляемого конечному пользователю по завершении процесса поиска. Процесс индексации преобразует исходные корпуса документов в представления документов, создавая индексные структуры, которые позволяют быстро осуществлять поиск по большим текстовым корпусам. Эти системы создают индексы, пригодные для поиска, индексируя содержимое документов или источников данных, применяя передовые методы, такие как тегирование метаданных, извлечение ключевых слов и семантический анализ, для улучшения доступности информации.

После получения запроса пользователя система анализирует запрос, находит соответствующие термины или ключевые слова и применяет алгоритмы ранжирования для оценки релевантности документа, при этом часто используются такие системы ранжирования, как TF-IDF, векторные пространственные модели, булевы модели поиска и вероятностные модели.

Такие системы, как Ontology-based Grid Information Retrieval (OGIR), используют семантические технологии и распределенные вычисления для извлечения смысла запроса, создания деревьев концепций пользователя на основе онтологических доменов и сравнения результатов поиска документов с наборами концепций для вычисления сходства с запросом. Процесс поиска в таких системах начинается с отправки запроса пользователем, за которым следует извлечение концепций и распределенный поиск по узлам данных, демонстрируя эффективность механизмов на основе онтологий в поиске релевантных документов.

Рабочий процесс обработки запроса включает в себя разбор запроса пользователя, его расширение, переформулирование и преобразование в системный запрос. Операции запроса включают сопоставление ключевых слов и методы обработки естественного языка для преобразования запроса пользователя в обрабатываемый системный запрос. Механизмы обратной связи по релевантности повышают эффективность оценки, при этом пользователи явно указывают релевантные документы для пересмотра и повторного выполнения запросов для улучшения поиска.

Методы машинного обучения используются в системах информационного поиска с конца 1980-х годов, поддерживая такие этапы, как индексирование, запрос, сравнение и обратная связь, что позволяет пользователям получать обратную связь для повышения точности запросов и поиска документов. Теория нечетких множеств также интегрирована для решения проблемы семантической дивергенции и повышения эффективности нечеткого информационного поиска, при этом векторные представления слов и рекуррентные нейронные сети (РНН) использовались для учета обратной связи от пользователя в качестве прироста информации для модулей поиска по ключевым словам.

Традиционные алгоритмы ранжирования в системах информационного поиска включают модель векторного пространства, которая представляет как документы, так и запросы в виде векторов в многомерном пространстве, определяемом терминами словаря. Сходство между запросом и документом вычисляется по формуле, включающей взвешенные векторы и косинус угла между ними. Широко используется схема взвешивания TF-IDF, где частота термина (TF) отражает, как часто термин встречается в документе, нормализованная по наиболее часто встречающемуся термину, а обратная частота документа (IDF) вычисляется как log(N/nt), где N — общее количество документов, а nt — количество документов, содержащих термин.

Усовершенствованные адаптивные алгоритмы, такие как A3CRank, объединяют TF-IDF и BM25 с PageRank, используя данные о кликах пользователей и обучение с подкреплением для вычисления коэффициента качества для каждой веб-страницы. Алгоритм агрегирует веса для каждого результата и объединяет их с помощью оператора агрегирования Ordered Weighted Averaging (OWA), что приводит к более стабильным и релевантным результатам, хотя и сталкивается с проблемами при работе с зашумленными данными из-за неявной обратной связи.

В последнее время для повышения эффективности ранжирования используются модели глубокого обучения. Модели глубоких нейронных сетей (DNN), включая Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT), GPT-2 и XLNet, автоматически изучают признаки, закономерности и иерархические структуры из необработанного текста, устраняя необходимость в признаках, разработанных человеком, и улучшая способность улавливать сложные шаблоны соответствия между запросами и документами. Капсульные структуры используют процедуры маршрутизации для захвата отношений «часть-целое» и итеративного сбора дополнительной информации для представления предложения. Метод двунаправленной долговременной кратковременной памяти (BiLSTM) использует две LSTM-сети, одна обрабатывает входные данные в прямом направлении, а другая — в обратном, для кодирования входных предложений. С помощью BiLSTM-сетей сеть получает доступ к большему объему информации, улучшая контекстную осведомленность.

3. Результаты

Эффективность систем информационного поиска (ИПС) оценивается с помощью набора метрик, которые измеряют точность, полноту и релевантность результатов. Точность (Precision) отражает долю релевантных документов среди всех найденных системой. Полнота (Recall) показывает долю найденных релевантных документов среди всех существующих релевантных документов в коллекции. Комбинированная метрика F-мера (F-measure) объединяет точность и полноту в единый показатель, позволяя оценить баланс между ними.

Основные метрики

- Mean Average Precision (MAP) — среднее значение точности по множеству запросов, учитывающее ранжирование документов.
- Normalized Discounted Cumulative Gain (nDCG) — метрика, учитывающая позицию релевантных документов в списке результатов, придавая больший вес документам, находящимся выше.
- Precision at k (P@k) — точность среди первых k результатов поиска.
- Mean Reciprocal Rank (MRR) — среднее значение обратного ранга первого релевантного документа, отражающее, насколько быстро система находит релевантный результат.

Современные ИПС-системы должны обеспечивать высокую производительность при работе с огромными массивами данных. Для этого применяются:

- распределённые вычисления и параллельная обработка запросов;
- оптимизация структур индексации (например, обратные индексы и деревья поиска);
- использование кэширования и эвристик для ускорения поиска;
- применение алгоритмов машинного обучения для адаптивного ранжирования и улучшения релевантности.

4. Обсуждение

Практическое применение систем информационного поиска охватывает веб-поисковые системы, цифровые библиотеки, поиск биомедицинской литературы (например, PubMed), корпоративный поиск и рекомендательные системы. Эти системы организуют, представляют и обеспечивают доступ к документам, веб-страницам, мультимедийным объектам и структурированным записям. Поисковые системы используют индексирование, алгоритмы ранжирования и обратную связь по релевантности для предоставления результатов. В биомедицинских областях системы информационного поиска, такие как PubMed, облегчают поиск литературы среди миллионов публикаций. Рекомендательные системы используют точность и полноту для измерения достоверности предлагаемых элементов.

К новым тенденциям относятся поиск мультимедийного контента и персонализированный поиск. Этические и практические проблемы в современных системах информационного поиска связаны с защитой конфиденциальности и смягчением предвзятости.

5. Выводы

Эволюция систем информационного поиска сформировалась под влиянием достижений в области информационных и коммуникационных технологий, перейдя от аналоговых решений, таких как печатные карточные каталоги, к цифровым системам поиска и извлечения, использующим сложные методы индексирования и доступа. Современные системы поиска информации — это программные системы, предназначенные для извлечения информации из коллекций документов или источников данных на основе запросов пользователей, и широко используются в цифровых библиотеках, системах управления документами, онлайн-поисковых системах и корпоративных поисковых приложениях. Эти системы организуют, представляют и обеспечивают доступ к разнообразным типам информации — документам, веб-страницам, онлайн-каталогам, структурированным и полуструктурированным записям, мультимедийным объектам — с основной целью сопоставления пользовательских запросов с релевантными ресурсами из обширных коллекций.

Непрерывное развитие систем поиска информации обусловлено интеграцией искусственного интеллекта и машинного обучения, которые расширяют возможности поисковых систем, понимая намерения пользователя, контекст и релевантность, а также автоматизируя извлечение и классификацию информации из неструктурированных источников данных. Достижения в области обработки естественного языка еще больше улучшили взаимодействие с пользователем, обеспечивая более точные и персонализированные результаты поиска. Непрерывная эволюция информационно-коммуникационных систем отражает постоянные усилия по улучшению индексирования метаданных, адаптации к растущим требованиям мобильности и скорости, а также расширению эффективности и результативности доступа к информации в цифровую эпоху.

Литература

1. Беляев, И.В. *Информационно-поисковые системы: теория и практика*. — М.: Академия, 2019.
2. Войскунский, А.Е. *Интернет и психология поиска информации*. — М.: Аспект Пресс, 2020.
3. Костюк, В.Н. *Информационные технологии и системы*. — СПб.: Питер, 2018.
4. КиберЛенинка. Научные статьи по теме «Информационно-поисковые системы». — https://cyberleninka.ru
5. Baeza-Yates, R., & Ribeiro-Neto, B. *Modern Information Retrieval: The Concepts and Technology behind Search*. Addison-Wesley, 2011.
6. Croft, W. B., Metzler, D., & Strohman, T. *Search Engines: Information Retrieval in Practice*. Addison-Wesley, 2010.
7. Jurafsky, D., & Martin, J. H. *Speech and Language Processing*. Pearson, 2023.
8. Mitra, B., & Craswell, N. *Neural Models for Information Retrieval*. Foundations and Trends in Information Retrieval, 2018.
9. Zhai, C., & Massung, S. *Text Data Management and Analysis*. ACM Books, 2016.

УДК: 656.13.072:004.85
МРНТИ: 73.31.11

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ИНЦИДЕНТОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

[1] Молдашев А.А., *[1] Мунарбеков Т.М., [1] Мұрат Ө.А., [1]Мұрат Ә.А.

[1] КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан
* Молдашев А.А. moldashev.askar@mail.kz

Аннотация

В статье рассматривается применение методов машинного обучения для выявления и предотвращения транспортных инцидентов в интеллектуальных транспортных системах. Актуальность исследования обусловлена ростом интенсивности дорожного движения, увеличением числа транспортных средств и усложнением процессов управления транспортной инфраструктурой. В таких условиях традиционные методы анализа оказываются недостаточными для своевременного обнаружения потенциально опасных ситуаций.

В работе анализируются подходы к обработке и интеграции данных, поступающих из различных источников, включая датчики дорожной инфраструктуры, системы видеонаблюдения и навигационные сервисы. Особое внимание уделяется предварительной обработке данных, включая очистку, нормализацию и агрегацию, что позволяет повысить качество последующего анализа.

Рассматриваются методы машинного обучения, применяемые для классификации состояний транспортной сети и прогнозирования вероятности возникновения инцидентов. Отмечается, что использование ансамблевых и нейросетевых моделей позволяет учитывать сложные нелинейные зависимости и временные закономерности. Полученные результаты свидетельствуют о возможности повышения точности анализа и оперативности принятия решений.

Представленные подходы могут быть использованы при разработке систем мониторинга дорожной ситуации и поддержки принятия решений в транспортной отрасли.

Ключевые слова машинное обучение, транспортные инциденты, интеллектуальные транспортные системы, анализ данных, прогнозирование, дорожное движение

Информация об авторах:

Молдашев А.А. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я moldashev.askar@mail.kz*

Мунарбеков Т.М. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я munarbekov.takhir@mail.kz*

Мұрат Ә.А. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я murat.altaiuly@mail.kz*

Нұрманов Т.Е. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я nurmanov.tamerlan@mail.kz*

1. Введение

В данной статье рассматривается применение современных методов искусственного интеллекта для обнаружения и предотвращения дорожных инцидентов в интеллектуальных транспортных системах (ITS). Изучены алгоритмы машинного и глубокого обучения, графовые модели, онлайн-обучение, методы обнаружения аномалий, мультиагентные системы и обучение с подкреплением применительно к прогнозированию аварий и инцидентов. Описаны источники данных (сетевая телеметрия, видеопоток, сенсоры, V2X, архив аварий), требования к их качеству и предобработке. Рассмотрены архитектуры ITS с интеграцией ИИ (edge и облако, реальномасштабная обработка, требования к задержкам, вопросы приватности и безопасности). Приведены примеры алгоритмов предотвращения инцидентов (предиктивное оповещение, адаптивное управление светофорами, экстренное торможение, маршрутизация), а также метрики эффективности (точность, полнота, F1, ROC-AUC, время предупреждения, доля ложных срабатываний, экономический эффект). Описаны практические внедрения и пилотные проекты (например, система Waycare в Неваде, система TrafficData в Перми) с кратким сравнением [1].

Обсуждаются ограничения и риски (надежность моделей, безопасность данных, этико-правовые аспекты), а также даны рекомендации по этапам внедрения и условной дорожной карте развития системы (фазы тестирования, масштабирования и оценки), включая оценку бюджета (при отсутствии данных отмечено «не указано»). Статья опирается на современные источники (оригинальные исследования, отчёты ITS-агентств, русскоязычные публикации).

Цель материала – проанализировать существующие технологии ИИ для заблаговременного выявления и предупреждения дорожных инцидентов, описать текущий опыт и дать практические рекомендации. Ключевые задачи – обзор методов прогнозирования аварий, источников данных и архитектур ITS, сравнение алгоритмов вмешательства, оценка эффективности систем, разбор примеров внедрений и создание рекомендаций для практики. Формат статьи рассчитан на широкий круг специалистов (инженеры ITS, аналитики, должностные лица), поэтому стиль научно-популярный, но с аналитической глубиной и конкретными примерами.

2. Материалы и методы

Используются различные подходы машинного обучения и ИИ для анализа транспортных данных. Среди них: классические модели машинного обучения (регрессии, деревья решений, бустинг), глубокие нейронные сети (CNN, LSTM, автоэнкодеры) для сложных данных, графовые нейронные сети (GNN) для учета топологии дорожной сети, онлайн-обучение для адаптивного обновления моделей, методы выявления аномалий и многомодальные системы. Так, графовые модели позволяют эффективно моделировать взаимосвязи между перекрестками и участками трассы – применение GNN в ITS ускорилось с 2019 года, они показали высокую производительность при моделировании дорожных сетей. Алгоритмы глубокого обучения позволяют выявлять аварии по видеопотоку или последовательности событий [2].

Например, пермская система TrafficData анализирует длительность простоя автомобилей и по видеоряду определяет признаки ДТП (столкновения, сбитые пешеходы и т.д.) с точностью около 90%. Методы обнаружения аномалий (One-Class SVM, Isolation Forest, VAE и др.) применяются для выявления нетипичных ситуаций (резких заторов, падения трафика). Обучение с подкреплением исследуется для адаптивного управления дорожной инфраструктурой: RL-агенты разрабатываются для перенастройки светофоров в реальном времени под аномалии или инциденты. В одном из исследований автоэнкодер-LSTM с RL достигли ~90% точности, 80% полноты и 85% F1-метрики при обнаружении аномалий в дорожных потоках.

Эти методы могут комбинироваться: например, GNN используются внутри Deep Learning-систем, а онлайн-обучение и RL обеспечивают адаптивность моделей. Как отмечается в обзоре по GNN (2023), большинство исследований ITS с GNN сосредоточено на прогнозировании потока, но к безопасности также постепенно применяют графовые подходы. Задачи anomaly-detection часто решаются гибридно: сначала статистический метод отбирает подозрительные события, затем нейросеть уточняет наличие аварии [3].

Системы детекции инцидентов используют различные источники информации. Это данные стационарных сенсоров (индукционные петли, радары, радары-лидары), видео с камер наблюдения, телеметрия и GPS-данные от транспортных средств, сообщения V2X (Vehicle-to-Everything) и V2V, данные из приложений-навигаторов и социальные сигналы (Waze, Twitter). Важны исторические сведения об авариях (данные ГИБДД, дорожной полиции), погодные данные, события (митинги, ремонтные работы). Например, департамент транспорта США рекомендует включать телеметрию C-V2X и данные бортовых систем (резкое торможение, ABS) для прогноза аварийных участков, дополняя их погодой и архивом ДТП.

Качество данных критично: требуется синхронизация потоков, удаление выбросов и заполнение пропусков. Необходима фильтрация ложных тревог (например, ложные срабатывания датчиков) и проверка меток (валидность отчетов о ДТП). Предобработка может включать агрегацию данных по сегментам дорог, вычисление статистик (усреднение скоростей, плотности движения), извлечение признаков из видео (детекторы машин, треки движения) и нормализацию временных рядов. В системах обнаружения аварий часто применяют методы выделения объектов на изображении (детекторы транспортных средств) с последующим анализом их поведения (столкновение, несанкционированная остановка). Хорошие примеры – алгоритмы, которые оценивают время простоя автомобилей на разных участках (как в системе TrafficData), чтобы отличить обычную задержку от события с аварией. Собранные данные должны поступать с минимальной задержкой и защищаться шифрованием из соображений приватности (личная безопасность водителей) и безопасности (защита от кибератак) [4].

Системы ITS для предотвращения аварий обычно используют гибридную архитектуру «edge–cloud». На периферии (edge) размещаются камеры и вычислительные модули, которые в реальном времени обрабатывают видеопоток и сенсорные данные с помощью легких моделей (например, предварительная фильтрация и выделение подозрительных событий). Это дает малую задержку и снижает нагрузку на сеть. В облаке выполняются тяжелые вычисления: обучение нейронных сетей, сложная аналитика и слияние данных из множества источников. Такая архитектура снижает задержки и повышает надежность (при потере связи edge-устройство может продолжать базовую работу).

При размещении на edge важно учесть ограничения вычислительной мощности и емкости питания. Например, специализированные устройства типа NVIDIA Jetson или FPGA позволяют запускать CNN на видеопотоке в точках фиксации, но модели должны быть оптимизированы. В облаке можно использовать масштабируемые GPU-кластеры, однако это увеличивает задержки и трафик (особенно при трансляции видео). В системах предупреждения критична реальность времени (реальное время): система должна обнаружить происшествие и выдать оповещение за секунды. Если задержка растет (высокая латентность), то эффективность снижается – это особенно важно для автоматического торможения и предиктивных сигналов [5].

Вопросы безопасности: необходимо защищать связь V2X по стандартам (например, IEEE 1609.2 для шифрования сообщений), а видеоаналитику – от атак (например, подмена изображения). Приватность – еще одна проблема: видео с камер или данные навигационных приложений могут содержать личную информацию. Решение – анонимизация данных (размытие лиц, преобразование номеров) или локальная обработка (реже передавать персональное видео в облако). Нормативно в ЕС действует GDPR, ограничивающий хранение личных данных, поэтому при построении ITS-системы важно получать согласие пользователей либо оперировать агрегированными анонимными данными.

3. Результаты

После обнаружения или прогнозирования аварий применяются алгоритмы активного вмешательства в поток для снижения риска или смягчения последствий. Примером может быть предиктивная сигнализация: система анализирует поведение автомобилей и при выявлении потенциального конфликта заранее мигает предупреждением или включает «стоп» на ближайших знаках. Адаптивное управление светофорами – один из широко распространенных приемов. На основе входных данных от датчиков и прогноза потоков светофоры перенастраиваются в реальном времени. Это снижает «накопление» очередей, которое само по себе может привести к столкновениям. Известен пример Нью-Джерси: интегрированная система AI/ML-прогнозирования с адаптивной системой SCATS снизила

задержки на коридорах на 10–30% и показала положительный ROI (экономию за счет сокращения задержек). Хотя это в первую очередь оптимизация трафика, более равномерный поток снижает риск аварий при переполнении путей [6].

Другое направление – автоматическое экстренное торможение и брейк-лайты для потоков. Камеры и лидары могут обнаружить возможность столкновения (например, внезапное появление пешехода) и сразу послать сигнал торможения на ближайшие транспортные средства (через V2V) или включить аварийное торможение. Считается, что такие методы предотвращают часть ДТП: они часто реализуются на уровне автомобилей или инфраструктуры со связью V2X.

Прокладка маршрутов – еще один способ снижения аварий. Если система прогнозирует высокую нагрузку или большое число инцидентов на выбранном участке, навигация может перенаправлять транспорт по альтернативным маршрутам. Такие предсказания строятся на базе аналитики потоков и истории ДТП. В ряде пилотов «умная навигация» учитывала аварийность дорог и предупреждала водителей о рисках, хотя это относительно новое направление, требующее зрелых сервисов данных [7].

Наконец, сотрудничество транспортных средств: в мультиагентной среде (несколько «умных» автомобилей) кооперация и обмен данными (через V2V) позволяют коллективно идентифицировать угрозы – например, первым сигнализировать о появлении препятствия на дороге. Это пока экспериментальное направление, но несколько работ демонстрируют преимущества совместного RL-управления потоками и предупреждений.

4. Обсуждение

Эффективность систем детекции и предотвращения измеряют как общепринятыми классификационными метриками, так и специфическими показателями для аварий. Типичные метрики: точность (Precision) – доля срабатываний, действительно связанных с ДТП; полнота (Recall) – насколько полно система находит все реальные аварии; F1-метрика как среднее гармоническое точности и полноты. Также оценивают ROC-AUC для сравнения моделей. Специфично для ITS важно время до предупреждения (lead time) – сколько времени проходит с обнаружения или прогноза до факта ДТП, чем больше, тем лучше для реагирования. Доля ложных срабатываний (False Alarm Rate) – критический показатель: слишком много ложных тревог снизит доверие системы. Наконец, оценивают экономический эффект – сокращение задержек, снижение расходов на аварии и заторов. Например, в новорожденной системе Waycare эксперимент показал экономию времени (среднее время реагирования сократилось на 12 мин) и снижения числа вторичных ДТП. В некоторых отчетах проводят аналитическое моделирование (эконометрический анализ в NJ) и вычисляют ROI на базе сэкономленного времени водителей [8].

Для иллюстрации можно привести пример из литературы: модель обнаружения аномалий с глубоким обучением показала около 90% precision, 80% recall и F1 ≈85%. Это хорошие результаты, но в реальной сети важен компромисс: иногда выбирают более высокий recall (чтобы не пропустить ДТП ценой дополнительных ложных тревог). Выбор оптимального порога классификации часто делают так, чтобы максимизировать F1.

Несмотря на прогресс, методики ИИ в ITS имеют ограничения. Во-первых, качество прогнозов сильно зависит от данных: шумные или неполные данные (например, пропавшая связь или вылеты сенсоров) приводят к ошибкам. Ложные срабатывания – риск, который может подорвать доверие к системе. Кибербезопасность – критичный фактор: хакеры могут попытаться подделать сообщения V2X или видео, нарушить работу датчиков. Поэтому ITS должны использовать защищенные протоколы и регулярные тестирования на проникновения.

В этическом плане есть риск дискриминации или несправедливого распределения мер безопасности. Например, если алгоритм оценивает районы по уровню риска неправильно (обоснованным или нет), то меры (новые камеры, знаки) могут

сконцентрироваться не там, где нужно. Личные данные водителей (где именно они ездят, голос, видеозаписи) – предмет регулирования. В РФ и ЕС использование видеопотока в публичных местах допустимо, но система должна уважать конфиденциальность (например, не хранить необоснованно долго излишние записи, размывать лица). На законодательном уровне вопрос ответственности тоже открыт: при ошибке ИИ – кто ответственный (оператор, разработчик, водитель)? Пока четких норм нет, поэтому нужно устанавливать «человека-наблюдателя» (human-in-the-loop) для принятия критических решений [9].

Наконец, технически ИИ может не работать идеально в нестандартных ситуациях – ночью, при сильном дожде, на непредсказуемых дорогах. Это накладывает ограничения: важен контекст (алгоритмы распознают лишь то, чему научились). В документах OECD и ITF подчеркивается, что ITS-решения должны быть испытаны на различных сценариях, чтобы минимизировать риск (например, проект из OECD описывает систему предупреждения о лобовом столкновении и отмечает, что в сложных погодных условиях могут возникать ошибки). Правовое регулирование такие технологии начинает охватывать (например, ГОСТ Р ИТС), но оно еще не повсеместно.

5. Выводы

При внедрении систем на основе ИИ в интеллектуальные транспортные системы целесообразно начинать с оценки имеющихся данных и инфраструктуры. Необходимо проанализировать существующие источники информации, включая сенсоры, камеры, навигационные сервисы и каналы связи, а также определить достаточность этих данных для последующего анализа. На этом этапе часто выявляется, что часть инфраструктуры требует дооснащения или модернизации, в том числе в части передачи данных и правовых условий их использования.

Далее реализуется пилотный проект, который ограничивается конкретной территорией или отдельным объектом, например перекрестком. В рамках пилота проводится интеграция выбранных решений, обучение моделей на исторических данных и проверка их работы в реальных условиях. Оцениваются показатели качества, включая точность и уровень ложных срабатываний, а также фактический эффект, выражающийся во времени реакции системы и изменении транспортной ситуации.

После этого выполняется анализ полученных результатов. Оценивается корректность выявления инцидентов, а также экономические и организационные эффекты. На этом этапе обычно обнаруживаются проблемы, связанные с задержками обработки данных или избыточным числом ложных сигналов, что требует корректировки алгоритмов, дообучения моделей и расширения набора данных.

При достижении приемлемых результатов осуществляется масштабирование решения. Система распространяется на большее количество объектов, при этом возникает необходимость в централизованной платформе, обеспечивающей сбор, обработку и анализ данных с различных узлов транспортной сети [10].

Завершающим этапом становится организация постоянного мониторинга и сопровождения. Контролируется качество работы системы, анализируются показатели эффективности, а также выполняется регулярное обновление моделей на новых данных. Одновременно необходимо обеспечивать соблюдение требований безопасности и учитывать вопросы этики при использовании данных.

Для каждого этапа целесообразно выделить бюджет: пилотные проекты обычно обходятся от десятков до сотен тысяч долларов (зависит от масштаба техники и ПО). Конкретных цифр в открытых источниках мало («не указано»), но опыт департамента транспорта США показывает, что даже сравнительно небольшие инвестиции дают эффект (сокращение затрат на поездки и аварии). Стоит учесть затраты на оборудование (камеры, датчики), разработку ПО (алгоритмы, интеграция), обучение персонала и поддержку. По

данным некоторых исследований, типовой проект AI/ITS среднего масштаба может стоить порядка $0.1–1 млн, но для больших городов суммы растут пропорционально.

Ключевые приоритетные действия: оценить качество имеющихся данных и закрыть критичные дыры (например, установить недостающие датчики); выбрать пилотный сегмент дороги с частыми ДТП; развернуть начальную ИИ-систему (используя готовые решения, где возможно) и тщательно ее протестировать. Оценивать успех нужно как по техническим метрикам (см. выше), так и по практическим результатам (снижение времени реагирования, числа аварий, общественная удовлетворенность).

Вывод: эффективная система предотвращения ДТП на базе ИИ требует скрупулёзной работы с данными, гибридной архитектуры edge-cloud, сочетания методов (от DL до RL) и внимания к организационным нюансам (поддержка оператора, нормативы). Современные пилоты показывают обнадеживающие результаты (сокращение аварийности и задержек). Однако полная зрелость таких решений потребует времени и инвестиций, а также проработки этических и законодательных аспектов. Критично начать поэтапно, учитывая специфику региона и имеющиеся ресурсы.

Литература

11. arXiv. (2019). A Survey on Graph Neural Networks in Intelligent Transportation Systems. https://arxiv.org
12. arXiv. (2020). Know Unreported Roadway Incidents in Real-time: A Deep Learning Framework for Early Traffic Anomaly Detection. https://arxiv.org
13. ITF OECD. (2022). Высокие задачи и системный подход к безопасности дорожного движения. https://itf-oecd.org
14. ITS Deployment Evaluation. (2023). Adaptive Signal Control and AI-Driven Analytics at New Jersey’s Arterial Management Center Reduced Corridor Travel Delays by 10 to 30 Percent. https://itskrs.its.dot.gov
15. ITS Deployment Evaluation. (2023). Southern Nevada has seen an average reduction in incident response times of 12 minutes since using an AI system. https://itskrs.its.dot.gov
16. itsjournal.ru. (2023). Создать, внедрить и заботиться — новый подход к повышению безопасности на дорогах. https://itsjournal.ru
17. Oxford Academic. (2023). Advances in reinforcement learning for traffic signal control: a review of recent progress. https://academic.oup.com
18. ScienceDirect. (2022). Autonomous anomaly detection on traffic flow time series with reinforcement learning. https://www.sciencedirect.com
19. smotrim.ru. (2024). Российские инженеры научили нейросеть распознавать аварии на записях камер наблюдения. https://smotrim.ru
20. U.S. Department of Transportation. (2023). Intelligent Transportation Systems (ITS) Use Cases for SS4A. https://www.transportation.gov

УДК: 656:623.746-519:004.8(574)
МРНТИ: 73.37.61

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ: МИРОВАЯ ПРАКТИКА БЕСПИЛОТНЫХ АВТОПЕРЕВОЗОК И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ КАЗАХСТАНА

[1]Байсалдин Д.Х., [1*]Шаймерденова А.А., [1]Эбикей Д.А., [1]Аутова Г.М., [1]Темиралиев Д.Р.

[1]Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: aiya77@mail.ru

Аннотация В статье рассматриваются направления применения технологий искусственного интеллекта в транспортной отрасли с акцентом на беспилотные автомобильные перевозки. Цель исследования — проанализировать мировую практику внедрения автономного транспорта и определить перспективы его развития в Казахстане. Методологическую основу составили системный и сравнительный анализ, изучение научных публикаций, отраслевых отчётов международных организаций, материалов технологических компаний и нормативно-правовых документов. Рассмотрены ключевые технологические компоненты автономного транспорта: машинное обучение, компьютерное зрение, лидары, радары и высокоточные цифровые карты. Показано, что наиболее активно беспилотные решения развиваются в Китае и США, где уже действуют сервисы роботакси и реализуются проекты автономных грузовых перевозок. Установлено, что основными эффектами внедрения беспилотного транспорта являются повышение безопасности дорожного движения, снижение влияния человеческого фактора, оптимизация логистических процессов и повышение эффективности использования транспортной инфраструктуры. На основе зарубежного опыта обосновано, что для Казахстана приоритетными направлениями могут стать пилотные проекты автономных грузоперевозок, развитие цифровой инфраструктуры, создание высокоточных карт и совершенствование нормативно-правовой базы с учётом больших расстояний, климатических особенностей и текущего уровня цифровизации транспортной системы страны.

Ключевые слова Искусственный интеллект, автономный транспорт, роботакси, беспилотные грузовики, интеллектуальные транспортные системы, цифровая мобильность.

Информация об авторах:

Байсалдин Данияр Хажи-Муратович *Магистрант 1 курса Образовательной программы «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, Казахстан, Алматы, E-mail: baisaldin.daniyar@gmail.com*

Шаймерденова Айгул Ауесхановна *Доктор PhD, профессор кафедры "ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ" Казахского автомобильно-дорожный института имени Л.Б. Гончарова, Казахстан, Алматы, E-mail: aiya77@mail.ru*

Эбикей Даурен Айдосулы *Магистрант 1 курса Образовательной программы «Транспортная техника и технология», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, Казахстан, Алматы, E-mail: ebikey04@mail.ru*

Аутова Гульмира Махмудовна *Старший преподаватель кафедры "ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ" Казахского автомобильно-дорожный института имени Л.Б. Гончарова, Казахстан, Алматы, E-mail: gulmira.autova@mail.ru*

Темиралиев Динмухамед Русланович *Магистрант 1 курса ОПД 2025, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан, E-mail: Sayagul061274@gmail.com*

1. Введение

Развитие технологий искусственного интеллекта (далее по тексту - ИИ) является одним из ключевых факторов трансформации современной экономики. Транспортная отрасль входит в число сфер, где внедрение интеллектуальных технологий способно привести к наиболее значительным изменениям, в том числе в сфере безопасности, мобильности и логистики [2][12]. В последние годы активно развивается направление автономных транспортных средств, способных передвигаться без непосредственного участия человека.

Одной из основных причин развития автономного транспорта является стремление повысить безопасность дорожного движения. По последним данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в дорожно-транспортных происшествиях погибает около 1,19 млн человек, и значительная часть аварий связана с человеческим фактором [18]. Использование систем искусственного интеллекта позволяет снизить влияние человеческих ошибок и повысить уровень безопасности на дорогах.

Кроме того, автономные транспортные системы способны значительно повысить эффективность транспортной инфраструктуры. Использование интеллектуальных алгоритмов управления движением позволяет оптимизировать транспортные потоки, сократить время поездок и снизить уровень заторов, а также повысить экономическую эффективность перевозок [13][6].

Особое развитие получают сервисы роботакси, представляющие собой беспилотные автомобили, выполняющие функции традиционного такси. Подобные сервисы уже внедряются и масштабируются в ряде городов США и Китая, что свидетельствует о переходе отрасли от стадии испытаний к ограниченной коммерческой эксплуатации [1][17].

Параллельно развивается направление беспилотных грузовых перевозок, которое может существенно изменить логистическую отрасль.

Для Казахстана внедрение подобных технологий представляет особый интерес. Большая территория страны, значительные расстояния между городами и курс на цифровизацию транспортно-логистической системы создают предпосылки для применения автономных транспортных решений, прежде всего в грузовой логистике [10][16].

Целью настоящего исследования является анализ мирового опыта внедрения автономного транспорта и оценка перспектив использования данных технологий в транспортной системе Республики Казахстан.

2. Материалы и методы

Методологическую основу исследования составляют методы системного анализа, сравнительного анализа и анализа научных публикаций. В рамках исследования были изучены научные статьи международных журналов, аналитические отчёты технологических компаний, материалы международных организаций и статистические данные, посвященные технологическим, инфраструктурным и регуляторным аспектам автономного транспорта [2][9][12][17].

Основное внимание уделялось следующим направлениям:

- технологии автономного управления транспортными средствами;
- развитие сервисов роботакси;
- применение автономных грузовых автомобилей;
- нормативно-правовые аспекты внедрения автономного транспорта.

Нормативно-правовой анализ выполнен путем сопоставления базовых понятий (водитель, владелец, эксплуатация транспортного средства), режимов ответственности и страхования, требований к обработке данных и информационной безопасности, а также норм об искусственном интеллекте, влияющих на системы высокой автономности, который представлен в таблице 1.

Таблица 1. Нормативно-правовые аспекты внедрения автономного транспорта в РК

Аспект	**НПА**	**Цитирование**	**Влияние на внедрение**	**Что требуется изменить или дополнить**
Кто считается водителем	Закон РК «О дорожном движении» ст. 1, пп. 25	«Водитель - лицо, управляющее транспортным средством...»	Мешает: автономный режим без человека - водителя не урегулирован	Дополнить закон терминами «автономное транспортное средство», «система автономного управления», «удаленный оператор» и закрепить субъекта ответственности при автономном режиме.
Интеллектуальная транспортная система, как инфраструктурная база	Закон РК «О дорожном движении» ст. 1, пп. 26-1	«интеллектуальная транспортная система - комплекс взаимосвязанных автоматизированных систем...»	Частично помогает, но не охватывает автономное управление	Расширить нормы об ИТС положениями о V2X, цифровых картах высокой точности, обмене данными и требованиях к кибербезопасности для автономного транспорта.
Электронные транспортные документы	Закон РК «О дорожном движении» ст. 1, пп. 27	«единая система управления транспортными документами - информационная система...»	Помогает цифровизации перевозок	Закрепить минимальный набор электронных данных для автономных перевозок: маршрут, события движения, инциденты и телеметрия в нормативно установленном объеме.

Аспект	НПА	Цитирование	Влияние на внедрение	Что требуется изменить или дополнить
Экстренный вызов и телематика	Закон РК «О дорожном движении» ст. 1, пп. 55	«устройство вызова экстренных оперативных служб - устройство, осуществляющее и обеспечивающее определение координат...»	Помогает формированию телематического контура	Установить обязательность регистратора событий и минимального аварийного пакета данных для автономных транспортных средств.
Определение водителя в ПДД	Правила дорожного движения РК п. 1, пп. 34	«водитель - лицо, управляющее транспортным средством...»	Мешает, так как ПДД рассчитаны на человека-водителя	Дополнить ПДД отдельным разделом о движении автономных транспортных средств, порядке передачи управления, безопасной остановке и взаимодействии с уполномоченными органами.
Пассажир в роботакси	Правила дорожного движения РК п. 1, пп. 22	«пассажир - лицо, находящееся на (в) транспортном средстве и не управляющее им»	Частично помогает, но не определяет внешнего ответственного субъекта	Закрепить, что пассажир не несет функции водителя, а ответственным субъектом при автономной перевозке является оператор, владелец либо иное определенное законом лицо.
Эксплуатация транспортного средства	Закон РК «Об обязательном страховании гражданско-правовой ответственности владельцев транспортных средств» ст. 1, пп. 7	«эксплуатация транспортного средства - использование транспортного средства для передвижения...»	Помогает: страховой контур в целом применим	Уточнить, что движение в автономном режиме также относится к эксплуатации транспортного средства и подлежит страховому покрытию на общих основаниях.
Владелец транспортного средства как субъект ответственности	Закон РК «Об обязательном страховании гражданско-правовой ответственности владельцев транспортных средств» ст. 1, пп. 8	«владелец транспортного средства - физическое или юридическое лицо...»	Помогает, особенно для корпоративных автопарков	Ввести категорию оператора флота автономных транспортных средств и определить его обязанности по мониторингу, обновлению ПО, хранению и предоставлению логов.
Персональные данные	Закон РК «О персональных данных и их защите» общие положения	«Настоящий Закон регулирует общественные отношения в сфере персональных данных...»	Частично мешает при отсутствии специального правового основания	Нужно установить специальный режим обработки данных автономного транспорта для целей безопасности дорожного движения, а также сроки хранения и порядок доступа к данным.

Аспект	НПА	Цитирование	Влияние на внедрение	Что требуется изменить или дополнить
Биометрические данные	Закон РК «О персональных данных и их защите» ст. 1, пп. 1	«биометрические данные - персональные данные, которые характеризуют физиологические и биологические особенности субъекта...»	Может ограничивать использование камер и систем идентификации	Исключить биометрию из базового сценария роботакси либо предусмотреть ее применение только при наличии отдельного законного основания и режима защиты данных.
Автоматизированная обработка данных	Закон РК «О персональных данных и их защите» ст. 1, пп. 2-3	«автоматизированная обработка персональных данных - обработка персональных данных объектом информатизации...»	Мешает при отсутствии прозрачных процедур доступа и раскрытия данных	Следует закрепить порядок информирования пользователей, выдачи данных субъектам и доступа уполномоченных органов к данным при ДТП и инцидентах.
Постоянный контроль над системой ИИ	Закон РК «Об искусственном интеллекте» ст. 8, п. 1	«Собственник, владелец и (или) пользователь обязаны обеспечивать постоянный контроль над системой искусственного интеллекта»	Двоякое влияние: повышает безопасность, но усложняет автономность	Определить допустимые модели надзора, включая дистанционный мониторинг, а также требования к журналированию, реагированию на инциденты и роли оператора.
Высокая автономность систем ИИ	Закон РК «Об искусственном интеллекте» ст. 17, п. 2	«Особенности создания и эксплуатации систем искусственного интеллекта высокой автономности устанавливаются законами Республики Казахстан.»	Существенный пробел: без специального режима эксплуатация юридически уязвима	Необходимо принять специальные нормы испытаний и допуска автономных транспортных средств на дороги общего пользования.
Информационная безопасность	Постановление Правительства РК № 832 и связанные требования ИКТ и ИБ п. 1 и связанные положения	«Единые требования...»	Частично усложняет комплаенс, но снижает киберриски	Для операторов автономного транспорта, интегрированных с ИТС и государственными системами, требуется закрепить обязательный киберпрофиль, журналирование и реагирование на инциденты.
Стандартизация	Закон РК «О стандартизации» общие положения	«Настоящий Закон определяет правовые основы, направленные на функционирование национальной системы стандартизации.»	Помогает, но пока отсутствуют специальные стандарты по АТС	Целесообразна разработка национальных стандартов по уровням автоматизации, регистраторам событий, OTA-обновлениям, V2X и кибербезопасности автономного транспорта.

Аспект	НПА	Цитирование	Влияние на внедрение	Что требуется изменить или дополнить
Цифровое правовое поле	Цифровой кодекс Республики Казахстан документ вступает в силу с 11.07.2026	«Начало действия документа: 11.07.2026»	Требует учета при запуске пилотных проектов	При разработке пилотов и последующего масштабирования необходимо учитывать изменения цифрового законодательства и их влияние на ИИ, данные и цифровую инфраструктуру.

Для анализа международного опыта были рассмотрены проекты ведущих технологических компаний, включая Waymo, Baidu, Aurora и другие. Также были изучены подходы к регулированию и стандартизации автономного транспорта в США, Китае и странах Европейского союза [8][11][17].

Для оценки перспектив внедрения автономного транспорта в Казахстане был проведен анализ структуры транспортных перевозок, протяженности автомобильных дорог, а также уровня цифровизации транспортной инфраструктуры и действующих программ развития транспортно-логистического потенциала страны [10][16].

3. Результаты

Результаты исследования показывают, что на сегодняшний день наиболее активное внедрение автономного транспорта наблюдается в США и Китае. Именно эти страны являются лидерами в разработке и коммерческом внедрении беспилотных транспортных технологий, включая роботакси и автономные грузоперевозки [1][12][17].

Компания Waymo, входящая в структуру Alphabet, развивает сервис роботакси в городах США. Автомобили оснащены комплексом сенсоров, включающих лидары, камеры и радары, которые позволяют формировать точную модель окружающей среды и обеспечивать безопасное движение в городской среде [10].

В Китае компания Baidu активно развивает проект автономного такси Apollo Go. Официальные материалы компании показывают, что сервис масштабируется и рассматривается как один из наиболее развитых примеров коммерциализации роботакси в Китае [4].

В сфере грузовых перевозок значительные успехи достигнуты в разработке автономных грузовых автомобилей. Компания Aurora в 2025 году объявила о начале коммерческих беспилотных грузоперевозок в Техасе, что подтверждает переход автономного грузового транспорта к практическому применению на междугородних маршрутах [3]. Использование подобных технологий позволяет снизить расходы на перевозку грузов и повысить эффективность логистики.

Основные технологии автономного транспорта и примеры их практического применения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Основные технологии автономного транспорта

Технология	Функция
Компьютерное зрение	Распознавание дорожных объектов и участников движения
Лидары	Построение трехмерной модели окружающей среды
Радары	Определение расстояния до объектов
Машинное обучение	Принятие решений на основе анализа данных
Цифровые карты высокой точности	Навигация и позиционирование автомобиля

4. Обсуждение

Сравнительный анализ международных проектов показывает, что внедрение автономного транспорта требует комплексного подхода. Необходимо развитие дорожной

инфраструктуры, создание цифровых карт высокой точности, обеспечение стандартизации уровней автоматизации и формирование нормативно-правовой базы [2][5][16].

Одним из ключевых преимуществ беспилотного транспорта является повышение безопасности дорожного движения. Автономные системы способны быстрее реагировать на изменения дорожной ситуации и снижать риски, возникающие вследствие человеческих ошибок, что особенно важно на фоне глобально высокого уровня дорожно-транспортной смертности [19][13].

Кроме того, беспилотные транспортные средства могут существенно повысить эффективность логистики. Автономные грузовые автомобили способны работать практически круглосуточно, что сокращает время доставки грузов и потенциально повышает экономическую отдачу транспортных операций [9][3].

Для Казахстана внедрение автономных транспортных технологий может стать важным этапом модернизации транспортной системы. Особенно перспективным является использование автономных грузовиков на длинных межрегиональных маршрутах при условии развития единой интеллектуальной транспортной системы, цифровой инфраструктуры и необходимого правового регулирования [10] [14].

Вместе с тем результаты нормативно-правового анализа показывают, что ключевым барьером для внедрения автономного транспорта в Казахстане остается отсутствие специального правового режима для высокоавтоматизированных транспортных средств. Действующие нормы Закона Республики Казахстан от 17 апреля 2014 года № 194-V «О дорожном движении» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 31.12.2025 г.) и Правил дорожного движения, утвержденные Приказом Министра внутренних дел Республики Казахстан от 30 июня 2023 года № 534 по-прежнему исходят из того, что водителем является физическое лицо, управляющее транспортным средством, тогда как при автономном режиме необходима отдельная правовая конструкция удаленного оператора или иного ответственного субъекта. При этом действующий механизм обязательного страхования гражданско-правовой ответственности владельцев транспортных средств формирует базовую рамку возмещения вреда, однако требует детализации применительно к автономному режиму, в том числе в части фиксации событий, доступа к данным и возможности регресса при дефекте программного обеспечения или аппаратной части. Дополнительного урегулирования также требуют вопросы обработки персональных данных, использования телеметрии и обеспечения информационной безопасности при интеграции автономного транспорта с интеллектуальными транспортными системами и цифровой инфраструктурой государства.

5. Выводы

Таким образом, технологии искусственного интеллекта играют ключевую роль в развитии транспортной отрасли. Мировой опыт демонстрирует высокий потенциал использования автономных транспортных средств как в пассажирских, так и в грузовых перевозках [2][12][7].

Внедрение автономного транспорта способно повысить безопасность дорожного движения, снизить логистические затраты и повысить эффективность транспортной инфраструктуры [9][19].

Для Казахстана развитие интеллектуальных транспортных систем и беспилотного транспорта может стать важным направлением цифровой трансформации экономики и транспортно-логистической инфраструктуры [10].

В перспективе целесообразно проведение пилотных проектов автономных перевозок, развитие цифровой инфраструктуры и совершенствование нормативно-правовой базы [10][14].

Ключевым регуляторным пробелом в Республике Казахстан остается отсутствие специальных норм испытаний и допуска автономных транспортных средств на дорогах

общего пользования в части определения субъекта управления, распределения юридической ответственности, режима использования данных и требований к кибербезопасности.

Литература:

1. Almaskati, D., Kermanshachi, S., & Pamidimukkula, A. (2023). Global policy and the adoption of autonomous vehicles. Transportation Research Procedia, 73, 329-336.
2. Available at: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.925
3. Anderson, J. M., Kalra, N., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. A. (2016). Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers. RAND Corporation.
4. Available at: https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR443-2.html
5. Aurora Innovation. (2025, April 27). Aurora begins commercial driverless trucking in Texas, ushering in a new era of freight. Available at: https://ir.aurora.tech/news-events/press-releases/detail/119/aurora-begins-commercial-driverless-trucking-in-texas-ushering-in-a-new-era-of-freight
6. Baidu, Inc. (2025). Baidu announces first quarter 2025 results.
7. Available at: https://ir.baidu.com/news-releases/news-release-details/baidu-announces-first-quarter-2025-results/
8. European Commission. (2018). On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future. Available at: https://transport.ec.europa.eu/system/files/2018-10/on_the_road_to_automated_mobility.pdf
9. Dawid, H., Di, X., Kort, P. M., & Muehlheusser, G. (2024). Autonomous vehicles policy and safety investment: An equilibrium analysis with endogenous demand. Transportation Research Part B: Methodological, 182, 102908. Available at: https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.102908
10. de Leo, G., & Miragliotta, G. (2025). Sustainability of autonomous cars: Environmental, social, and economic insights from a systematic review. Sustainable Production and Consumption, 60, 159-175. Available at: https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.09.013
11. Dunphy, A. (2024). Is the regulation of connected and automated vehicles (CAVs) a wicked problem and why does it matter? Computer Law & Security Review, 52, 105944.
12. Available at: https://doi.org/10.1016/j.clsr.2024.105944
13. Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 77, 167-181. Available at: https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003
14. Government of the Republic of Kazakhstan. (2022, December 30). On approval of the Concept for the Development of the Transport and Logistics Potential of the Republic of Kazakhstan until 2030 (Resolution No. 1116). Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2200001116
15. Martínez-Buelvas, L., Rakotonirainy, A., Grant-Smith, D., & Oviedo-Trespalacios, O. (2025). Policy considerations for the safe and equitable integration of connected and automated vehicles. Case Studies on Transport Policy, 22, 101631.
16. Available at: https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101631
17. Olayode, I. O., Du, B., Severino, A., Campisi, T., & Alex, F. J. (2023). Systematic literature review on the applications, impacts, and public perceptions of autonomous vehicles in road transportation system. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 10(6), 1037-1060. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.07.006
18. Raposo, M. A., Grosso, M., Mourtzouchou, A., Krause, J., Duboz, A., & Ciuffo, B. (2022). Economic implications of a connected and automated mobility in Europe. Research in Transportation Economics, 92, 101072. Available at: https://doi.org/10.1016/j.retrec.2021.101072
19. Republic of Kazakhstan. (2014, April 17). On road traffic (Law No. 194-V).

20. Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1400000194
21. Republic of Kazakhstan. (2025, July 18). On artificial intelligence (Law No. 230-VIII).
22. Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2500000230
23. SAE International. (2021). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles (J3016_202104). Available at: https://www.sae.org/standards/j3016_202104-taxonomy-definitions-terms-related-driving-automation-systems-road-motor-vehicles
24. Sever, T., & Contissa, G. (2024). Automated driving regulations - where are we now? Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 24, 101033.
25. Available at: https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101033
26. Waymo. (2024, March 13). Scaling Waymo One safely across four cities this year.
27. Available at: https://waymo.com/blog/2024/03/scaling-waymo-one-safely-across-four-cities-this-year
28. World Health Organization. (2023). Global status report on road safety 2023.
29. Available at: https://www.who.int/publications/i/item/9789240086517

УДК: 656.078:004.94
МРНТИ: 27.31.19

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК

[1] Камидов А. Л, [2]Любимов А. О., [3] Медетбек А. А., *[4]Деветьярова Н.В.
[1] Казахский автомобильно—дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г.Алматы, Казахстан

*Автор-корреспондент e-mail: devetyarova.n@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются цифровые двойники как инструмент интеллектуального моделирования и прогнозирования цепей поставок, с акцентом на оценку их эффективности в деятельности национальной транспортно-логистической компании АО «Национальная компания «Қазақстан темір жолы». Проведённый SWOT-анализ показал, что применение цифровых двойников обладает значительным потенциалом для повышения прозрачности, оптимизации загрузки инфраструктуры и улучшения точности прогнозирования грузопотоков, что является критически важным для компаний с комплексной и протяжённой логистической системой. В рамках исследования проанализированы ключевые показатели деятельности АО «НК «Қазақстан темір жолы», выявлены существующие проблемы, включая неравномерную загрузку мощностей, зависимость от внешних факторов и необходимость повышения качества планирования. На основе данных ежегодного отчёта произведены расчёты экономического эффекта, согласно которым годовая экономия составляет около 60 млрд тенге при сроке окупаемости инвестиций в размере 120 млрд тенге, что соответствует двухлетнему периоду. Полученные результаты подтверждают экономическую целесообразность внедрения цифрового двойника и его потенциал в повышении эффективности транспортно-логистических процессов. Исследование демонстрирует, что цифровые двойники могут стать ключевым инструментом цифровой трансформации крупных логистических операторов Казахстана и способствовать укреплению их конкурентных позиций на международных маршрутах.

Ключевые слова: Цифровые двойники; интеллектуальное моделирование; цепи поставок; логистика; прогнозирование; АО «НК «Қазақстан темір жолы»; экономическая эффективность.

Камидов А. Л. — *Студент, ОП «6В11314– Организация перевозок и логистика на транспорте», КазАДИ, г. Алматы, Казахстан. E-mail: Ashrafik1@mail.ru*

Любимов А. О. — *Студент, ОП «6В11314– Организация перевозок и логистика на транспорте», КазАДИ, г. Алматы, Казахстан. E-mail: tokha-lyubimov@mail.ru*

Медетбек А. А. — *Студент, ОП «6В11314– Организация перевозок и логистика на транспорте», КазАДИ, г. Алматы, Казахстан. E-mail: zhazira-2016@inbox.ru*

Деветьярова Н.В. — *М.т.н., ст.преподаватель, КазАДИ, г. Алматы, Казахстан. E-mail: devetyarova.n@gmail.com*

1. Введение

Современная экономика характеризуется высокой степенью цифровизации и усложнением глобальных цепей поставок, что обусловлено ростом международной торговли, развитием электронной коммерции и усилением конкуренции. В таких условиях предприятия сталкиваются с необходимостью повышения прозрачности, гибкости и устойчивости логистических систем, а также способности оперативно реагировать на внешние и внутренние изменения.

Традиционные методы управления цепями поставок, основанные на ретроспективном анализе и статических моделях, всё чаще оказываются недостаточными для решения задач прогнозирования и адаптивного управления в условиях динамичного рыночного окружения. По мнению исследователей, современные цифровые технологии, помогают преодолеть эти ограничения за счёт моделирования сложных процессов и использования аналитики больших данных. Это формирует научную проблему поиска новых инструментов, способных интегрировать данные, моделировать сложные процессы и предсказывать возможные сценарии развития для обеспечения гибкости, прозрачности и эффективности управления активами и процессами в реальном времени. [1]

Конвергенция цифровых технологий породила «цифровых двойников», предлагающих зеркальную цифровую копию физических активов, процессов или систем. В этом контексте «цифровой двойник» можно рассматривать как важнейшую технологию, обеспечивающую будущее развитие и прогресс. С момента своего появления в 2003 г. эта концепция вызывает неизменный интерес, а количество ежегодных публикаций начиная с 2017 г. растет в геометрической прогрессии [2].

Одним из перспективных решений данной проблемы выступает технология цифровых двойников, представляющая собой виртуальную модель физического объекта или системы, синхронизированную с ней посредством непрерывного обмена данными. Применение цифровых двойников в управлении цепями поставок позволяет проводить имитационное моделирование, прогнозировать спрос, оптимизировать логистические процессы и минимизировать риски.

В литературных источниках освящен опыт повышения производительности и снижения затрат для логистических процессов с использованием цифрового двойника. Среди достигнутых эффектов оперативное планирование пополнения запасов в режиме реального времени, прогнозирование сроков пополнения запасов, полная доступность эксплуатационных данных, улучшение уровня обслуживания и более высокая удовлетворенность клиентов. Руководство имеет возможность принятия решений в режиме реального времени, и такая информация, в частности, может быть использована для переговоров о гибких ценах. [3].

Актуальность исследования заключается в особой значимости цифровизации цепей поставок в условиях Казахстана в связи с развитием транспортно-логистического потенциала страны и интеграцией в международные торговые маршруты. Несмотря на активное развитие цифровых технологий, уровень внедрения современных инструментов моделирования, включая цифровые двойники, остается ограниченным, что обусловливает необходимость их научного анализа и оценки экономической целесообразности применения

Целью настоящего исследования является анализ применения цифровых двойников как инструмента интеллектуального моделирования и прогнозирования цепей поставок.

Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:

- раскрыть сущность технологии цифровых двойников;
- определить их роль в управлении цепями поставок;
- рассмотреть методы моделирования и прогнозирования;
- выявить преимущества и ограничения применения технологии.

Объектом исследования выступают цепи поставок в условиях цифровой экономики.

Предметом исследования является применение цифровых двойников для их моделирования и прогнозирования.

Научная новизна работы заключается в рассмотрении цифровых двойников как интегрированного инструмента, объединяющего методы имитационного моделирования, машинного обучения и аналитики данных для повышения эффективности управления цепями поставок.

2. Материалы и методы

Методологическую основу исследования составляют общенаучные и прикладные методы анализа, направленные на изучение возможностей применения цифровых двойников в управлении цепями поставок с учётом международного опыта и специфики Республики Казахстан. Использован анализ научной литературы, включающий современные публикации в области цифровых двойников, логистики и цифровой трансформации, что позволило сформировать теоретическую базу и определить ключевые направления применения технологии. [4]

Для оценки потенциальной эффективности внедрения учитываются обобщённые данные международного опыта, используемые в качестве ориентиров при проведении экономических расчётов, а также анализ текущего состояния цифровизации цепей поставок в Казахстане на основе аналитических отчётов, открытых данных и экспертных оценок, отражающих уровень внедрения цифровых технологий в логистике, промышленности и транспортной сфере страны, включая SWOT-анализ применения цифровых двойников на предприятиях.

Применяется метод экономической оценки эффективности внедрения, включающий расчёт потенциальной экономии затрат и срока окупаемости проекта на примере казахстанской компании АО «НК «Қазақстан темір жолы», с формированием типовых характеристик предприятия (объём грузооборота, структура поставок, уровень затрат) и оценкой эффектов от внедрения технологии.

Выбор методов обеспечивает комплексный анализ теоретических аспектов технологии и её практической применимости в условиях Казахстана, включая экономическую эффективность внедрения цифровых двойников. [5]

3. Результаты

Внедрение цифровых двойников оказывает значительное влияние на эффективность управления цепями поставок, обеспечивая повышение прозрачности, снижение издержек и улучшение качества прогнозирования.

Анализ международной практики показывает, что использование цифровых двойников позволяет существенно повысить эффективность логистических процессов. В частности, по данным аналитических материалов Lamacon, внедрение данной технологии способствует снижению логистических затрат в среднем на 10–15% за счёт оптимизации маршрутов и управления запасами.

Кроме того, наблюдается сокращение времени обработки заказов на 20–30%, что связано с повышением прозрачности и автоматизацией складских операций. Также цифровые двойники обеспечивают рост точности прогнозирования спроса до 90% и выше благодаря использованию данных в режиме реального времени и инструментов предиктивной аналитики. [6]

SWOT-анализ применения цифровых двойников Казахстанскими предприятиями позволяет комплексно оценить стратегический потенциал цифровых двойников и определить факторы, влияющие на их эффективность в конкретных условиях. В таблице 1 представлен SWOT-анализ применения цифровых двойников Казахстанскими предприятиями.

Таблица 1. SWOT-анализ применения цифровых двойников Казахстанскими предприятиями

Сильные стороны (Strengths).	Слабые стороны (Weaknesses)
Внедрение цифровых двойников предоставляет казахстанским предприятиям возможность значительно повысить прозрачность и управляемость логистических процессов. Наиболее существенными преимуществами являются повышение точности прогнозирования спроса, оптимизация запасов и снижение операционных издержек. Применение цифровых двойников обеспечивает реализацию принципов проактивного управления цепями поставок, позволяя идентифицировать узкие места, моделировать различные сценарии и выбирать оптимальные решения ещё до того, как возникнут фактические сбои. Для Казахстана, обладающего крупной транспортно-логистической инфраструктурой и транзитным потенциалом, актуальным преимуществом является возможность интеграции цифровых двойников в существующие цифровые платформы и государственные инициативы, направленные на развитие транспортных коридоров, таких как «Цифровой коридор Среднего пути». Наличие крупных корпоративных игроков (например, в нефтегазовом секторе, горнодобывающей отрасли и железнодорожном транспорте) способствует формированию спроса на высокотехнологичные решения и созданию локальной экспертизы.	Несмотря на стратегическую важность технологии, её распространение в Казахстане сдерживается рядом системных ограничений. Прежде всего, наблюдается недостаточный уровень интеграции корпоративных информационных систем, что препятствует формированию полноценной цифровой модели предприятия и цепи поставок. Многие компании используют ERP, WMS и TMS изолированно, без единых стандартов данных и сквозной аналитики. Ограниченной остается и компетентность персонала: нехватка специалистов по моделированию, обработке больших данных и промышленной аналитике усложняет внедрение и сопровождение цифровых двойников. Дополнительным барьером выступают высокие капитальные затраты, связанные с внедрением технологий IoT, облачных платформ, сенсорных систем и инструментов машинного обучения. Особую зависимость создаёт также ориентация на зарубежные программные решения, что увеличивает стоимость владения и снижает технологический суверенитет.
Возможности (Opportunities)	Угрозы (Threats)
Развитие цифровых двойников в Казахстане обладает значительным потенциалом в контексте национальных стратегий цифровизации экономики и транспортной отрасли. В перспективе данная технология может стать ключевым инструментом повышения конкурентоспособности отечественных компаний на глобальных логистических рынках, особенно в условиях растущего транзитного потока и необходимости повышения эффективности мультимодальных перевозок. Особые возможности открываются в интеграции цифровых двойников с искусственным интеллектом и большими данными, что позволит формировать адаптивные цепи поставок с высокой степенью автономности принятия решений. Для государства перспективным направлением является внедрение цифровых двойников в инфраструктурные проекты — железнодорожный транспорт, аэропорты, ТЛЦ, морские порты — что обеспечит сквозную синхронизацию процессов и позволит повысить качество планирования развития отрасли. На уровне предприятий технология открывает возможности для повышения устойчивости цепей поставок, сокращения издержек и формирования дополнительных источников ценности за счёт новых цифровых сервисов.	Основные риски и угрозы связаны с возможным усилением технологического неравенства между крупными и малыми предприятиями, а также между Казахстаном и странами с более развитой цифровой инфраструктурой. Высокая стоимость внедрения и ограниченная доступность специализированных решений могут привести к тому, что цифровые двойники будут использоваться преимущественно крупным бизнесом, что нарушает конкурентный баланс. Технологические угрозы включают риски кибербезопасности, утечек данных и зависимость от внешних поставщиков программного обеспечения. В условиях нестабильности глобальных цепей поставок, санкционных ограничений и геополитических рисков такие факторы могут существенно осложнить поддержку и обновление технологической инфраструктуры. Дополнительной угрозой является отсутствие единых отраслевых стандартов и нормативно-правовой базы, регулирующей использование цифровых двойников, что может приводить к фрагментации решений и усложнять их масштабирование.

Проведённый SWOT-анализ демонстрирует, что при поддержке со стороны государства и крупных корпоративных игроков цифровые двойники могут стать ключевым элементом развития логистической инфраструктуры и повышения конкурентоспособности Казахстана как транзитного хаба. Особенно значимы перспективы интеграции данной технологии с искусственным интеллектом, большими данными и IoT, что позволит

формировать интеллектуальные, высокоавтоматизированные модели управления цепями поставок.

В то же время при реализации проектов цифровых двойников необходимо учитывать существующие угрозы: риски кибербезопасности, зависимость от зарубежных технологий, технологическое неравенство между предприятиями, а также отсутствие унифицированных нормативных стандартов. Эти факторы могут замедлить распространение технологии и требовать разработки устойчивых регуляторных и инфраструктурных решений.

В целом цифровые двойники представляют собой перспективное направление цифровой трансформации логистики Казахстана. Для достижения этого потенциального эффекта необходимо развитие цифровой инфраструктуры, формирование компетенций персонала и создание благоприятных условий для интеграции современных цифровых технологий в практику казахстанских предприятий.

Наиболее рационально начинать внедрение цифровых двойников с процессов, где:

– эффект от оптимизации максимален,
– существует достаточная цифровая база (ERP, WMS, TMS),
– риски внедрения ограничены,
– возможен быстрый и измеримый экономический результат.

К таким процессам относятся: прогнозирование спроса, оптимизация запасов, складская логистика, транспортное моделирование и предиктивное обслуживание оборудования.

В рамках исследования рассмотрена деятельность национальной транспортно-логистической компании АО «НК «Қазақстан темір жолы», которая является ключевым оператором железнодорожной инфраструктуры Республики Казахстан и обеспечивает значительную часть грузоперевозок как на внутреннем, так и на международном уровне.

Компания играет важную роль в формировании транзитного потенциала страны, обеспечивая транспортировку сырьевых ресурсов, промышленной продукции и товаров народного потребления. Цепи поставок компании отличаются высокой сложностью и протяжённостью, включая множество узлов, маршрутов и участников.

Ключевые показатели деятельности компании:

– общий объём грузоперевозок превышает 250 млн тонн в год;
– значительная доля перевозок приходится на транзитные направления;
– логистические процессы включают управление подвижным составом, маршрутизацию, распределение потоков и координацию с международными партнёрами;
– компания обладает развитой инфраструктурой.

Несмотря на высокий уровень развития, в деятельности компании наблюдаются следующие проблемы:

– неравномерная загрузка инфраструктуры и подвижного состава;
– задержки в поставках вследствие сложной координации процессов;
– высокая зависимость от внешних факторов (спрос, международные потоки);
– необходимость повышения точности прогнозирования грузопотоков.

С учётом масштаба деятельности и сложности логистических процессов, АО «НК «Қазақстан темір жолы» является перспективным объектом для внедрения технологии цифровых двойников, позволяющих моделировать транспортные потоки, оптимизировать загрузку инфраструктуры и повышать эффективность управления цепями поставок.

Для оценки эффективности внедрения цифрового двойника в деятельности АО «НК «Қазақстан темір жолы» проведён расчёт экономического эффекта на основе данных, представленных в ежегодном отчете. [8] В таблице 2 представлены экономические показатели компании АО «НК «Қазақстан темір жолы».

Таблица 2. Экономические показатели компании АО «НК «Қазақстан темір жолы»

Показатель	Значение
Себестоимость (расходы)	1,5 трлн тг
Доля оптимизируемых затрат	40%
Потенциальное снижение затрат	10%
Годовая экономия	60 млрд тг
Стоимость внедрения	120 млрд тг
Срок окупаемости	2 года

Расчёт экономии производим по формуле 1:

$$Экономия = Затраты \times Доля\ оптимизируемых\ затрат \times Процент\ снижения \quad (1)$$

Соответственно Экономия = 1,5 трлн × 0,4 × 0,10= 60 млрд тенге

Для обоснования расчётов экономической эффективности внедрения технологии цифровых двойников рассмотрим структуру затрат компании. В таблице 3 представлены основные составляющие расходов.

Таблица 3. Составляющие расходов, формирующих сумму общих затрат

Статья расходов	%	Сумма, млрд тг
ИТ-инфраструктура и платформы	32%	38
IoT, датчики, оборудование	23%	28
Разработка цифрового двойника	20%	24
Кадры, обучение, управление	11%	13
Кибербезопасность	6%	7
Сопровождение и эксплуатация	5%	6
Всего	100%	120

Помимо текущих расходов компании, для внедрения цифрового двойника требуются дополнительные инвестиции, которые в рамках исследования оцениваются на уровне 120 млрд тенге [6]. На основании данных экономии осуществим расчёт срока окупаемости по формуле 2

$$Срок\ окупаемости = Инвестиции / Годовая\ экономия \quad (2)$$

Соответственно срок окупаемости = 120 млрд тг / 60 млрд тг= 2 года

В качестве базы для расчетов использованы данные финансовой отчетности компании за 2023 год, включая показатели себестоимости реализации и структуры расходов.

Срок окупаемости проекта составляет 2 года, что соответствует приемлемым инвестиционным параметрам для инфраструктурных и логистических проектов. Помимо прямого экономического эффекта, внедрение цифрового двойника позволяет повысить точность прогнозирования грузопотоков, снизить задержки и простои, оптимизировать загрузку инфраструктуры, повысить устойчивость цепей поставок.

Проведённые расчёты показывают, что внедрение цифрового двойника в деятельности АО «НК «Қазақстан темір жолы» является экономически целесообразным. При значительном масштабе деятельности компании даже относительно небольшое снижение затрат (на уровне 10%) обеспечивает существенный финансовый эффект.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что внедрение цифровых двойников является экономически оправданным для казахстанских компаний, обладающих достаточным масштабом деятельности и развитой цифровой инфраструктурой. Наибольший эффект достигается в логистике, транспорте, промышленности и торговых сетях с высокой интенсивностью потоков [9].

4. Обсуждение

Анализ расчетов показывает, что внедрение цифрового двойника в деятельности АО «НК «Қазақстан темір жолы» способно обеспечить значительный экономический эффект.

Потенциальная экономия затрат составляет около 60 млрд тенге в год при сроке окупаемости 2 года, что подтверждает финансовую целесообразность проекта. Сопоставление с международным опытом демонстрирует, что эффективность применения технологии находится на сопоставимом уровне, а наибольший эффект достигается за счёт оптимизации транспортных процессов, повышения точности прогнозирования и более рационального использования ресурсов.

В условиях Казахстана цифровые двойники особенно актуальны ввиду растущей нагрузки на транспортно-логистическую инфраструктуру и значимости транзитного потенциала страны. Применение технологии способствует повышению конкурентоспособности на международных маршрутах, сокращению простоев и задержек, оптимизации загрузки инфраструктуры и повышению устойчивости цепей поставок.

Вместе с тем реализация проектов требует значительных первоначальных инвестиций, высокого уровня цифровой зрелости компании, качества исходных данных, а также организационной готовности, включая подготовку персонала и адаптацию бизнес-процессов. Успешное внедрение предполагает поэтапное развертывание технологии с учетом экономических, технологических и организационных факторов. [10]

5. Выводы

Цифровые двойники доказали свою эффективность как инструмент интеллектуального моделирования и прогнозирования цепей поставок, обеспечивая повышение прозрачности логистических процессов, снижение операционных затрат и улучшение качества управленческих решений благодаря использованию данных в реальном времени и сценарного анализа.

Международный опыт подтверждает, что внедрение технологии позволяет сокращать логистические расходы, ускорять обработку заказов и повышать точность прогнозирования. Для казахстанских компаний среднего и крупного масштаба внедрение цифровых двойников является экономически оправданным, особенно при наличии развитой цифровой инфраструктуры и значительного объёма логистических операций.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов при принятии решений о внедрении цифровых технологий в управлении цепями поставок. Наибольший эффект достигается в логистике, транспорте, промышленности и торговых сетях с высокой интенсивностью потоков.

Список литературы

1. Gartner: использование цифровых двойников становится массовым. (2019). Вестник цифровой трансформации. https://cio.osp.ru/news/250219-Gartner-ispolzovanie- tsifrovyh-dvoynikov-stanovitsya-massovym
2. van der Valk, H., Haße, H., Möller, F., Arbter, M., Henning, J.-L., & Otto, B. (2020). A taxonomy of digital twins. В Proceedings of the 26th Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2020) (стр. 1–10).
3. https://www.researchgate.net/publication/341235159_A_Taxonomy_of_Digital_Twins
4. Greif T., Stein N., Flath C. M. (2020). Peeking into the void: Digital twins for construction site logistics // Computers in Industry. Vol. 121. P. 103264. https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103264
5. Панов А. И., Тельнов Ю. Ф. (2021). Цифровые двойники в промышленности: технологии и применение. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 236 с.
6. Лапидус В. А., Минаев Э. С. (2022). Цифровизация логистики и управления
7. цепями поставок: учебное пособие. М.: КноРус, 304 с.

8. Цифровой двойник, дополненная аналитика и искусственный интеллект среди
9. ведущих технологических трендов цепочек поставок. (2019) Экспертная статья,. URL: https://lamacon.ru/blog/cifrovoj-dvojnik-i-iskusstvennyj-intellekt/
10. Дунаев О. Н., Смирнов А. И. (2024). Искусственный интеллект в логистике и цепях поставок: практико-ориентированное учебное пособие. М.: Юрайт,. 342 с.
11. Антонов С. (2025). КТЖ заработал 86 млрд тенге за полгода. URL:
12. https://kz.kursiv.media/2025-09-04/svan-ktzh-uvelichila-pribyl-na-108-za-polugodie-za-schet- perevozki-gruzov/
13. АО «Национальная компания «Қазақстан темір жолы». Консолидированная
14. финансовая отчётность за год, закончившийся 31 декабря 2023. URL: https://kase.kz/files/emitters/TMJL/tmjlf6_2023_cons_rus.pdf
15. Савицкая Г. В., Кожевников С. А. (2023) Индустрия 4.0 и цифровая трансформация предприятий: учебное пособие. Минск: Новое знание,. 280 с.

УДК: 629.08:629.3.018
МРНТИ: 73.31.17

АВТОКӨЛІК ҚҰРАЛДАРДЫН ТЕХНИКАЛЫҚ КҮЙІН ҚҰРАЛМЕН БАҚЫЛАУ ОРТАЛЫҒЫНА АРНАЛҒАН ДИАГНОСТИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАРҒА ТАЛАПТАР

[1]Иванов А.К., [1]Шиханов Н.Ю., [1]Толегенов А.Ж., [1]Касен Ж.,* [1]Кардасинов С.М.

[1]Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail:polygrafy.m@mail.ru

Андатпа Бұл мақала мемлекеттік техникалық тексеру процесінде қолданылатын бағдарламалық және аппараттық жүйелерге қойылатын талаптарды терең жүйелік талдауға арналған. Онда метрологиялық үйлесімділік, сараптамалық бағалаулардың алгоритмдік дәлдігі, диагностикалық деректердің киберқауіпсіздігі және шасси параметрлерінің көлік құралдарының белсенді қауіпсіздігіне әсері сияқты маңызды мәселелер қарастырылады. Қазақстан Республикасы мен Еуразиялық экономикалық одақтың ұлттық стандарттарын халықаралық директивалармен үйлестіруге ерекше назар аударылады. Сонымен қатар, көлік құралдарының аспаптық жағдайын бақылау станцияларында қолданылатын диагностикалық жабдықтарға қойылатын техникалық және пайдалану талаптарының кешенді әдіснамалық негіздемесі ұсынылған. Бұл зерттеудің өзектілігі жол қозғалысы қауіпсіздігі жүйелеріндегі адам факторының әсерін азайту және сараптамалық бағалаулардың сенімділігін арттыру қажеттілігінен туындайды. Автор негізгі жабдықтың жұмыс істеу критерийлерін егжей-тегжейлі сипаттайды, келесілерді басымдықтар ретінде анықтайды: өлшеу циклдерін автоматтандырудың жоғары деңгейі, метрологиялық бақылау, модульдік аппараттық архитектура және берілетін деректердің киберқауіпсіздігі. Өлшенген мәндерді реттеуші төзімділік массивтерімен автоматты түрде салыстыратын интеллектуалды тексеру алгоритмдеріне ерекше назар аударылады (TR CU 018/2011 және халықаралық стандарттарға сәйкес). Мақалада көлік жүйелері мен диагностикалық станциялар арасындағы өзара әрекеттесу физикасы талданады және виброакустикалық және сандық тестілеу әдістерін біріктіру қажеттілігі негізделеді. Басқару компьютерлерінің желілік конвергенциясына қойылған талаптар заманауи көлік құралдарының аспаптық жағдайын бақылау станцияларында техносфера қауіпсіздігін бақылаудың бірыңғай киберфизикалық жүйесінің элементтері ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелерін жаңа техникалық тексеру желілерін жобалауда және қолданыстағы нормативтік және техникалық негіздерді жаңғыртуда пайдалануға болады. Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – мемлекеттік техникалық тексеру жүйесінің тиімділігін арттыру, оның ішінде диагностикалық жабдықтарға қойылатын талаптарды жетілдіру арқылы жол қозғалысы қауіпсіздігін қамтамасыз ету. Автор ұсынған әдіснамалық тәсілдер мен критерийлер техникалық тексеру процесінің объективтілігін, дәлдігін және сенімділігін арттыруға бағытталған. Мақалада ұсынылған шешімдер мен ұсыныстар техникалық тексеру станцияларының жұмысын оңтайландыруға, адам факторының әсерін азайтуға және диагностикалық деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде жол-көлік оқиғаларының санын азайтуға және көлік құралдарын пайдалану қауіпсіздігін арттыруға ықпал етеді. Зерттеудің практикалық маңызы өте зор, өйткені оның нәтижелері жаңа техникалық тексеру желілерін жобалауда, қолданыстағы нормативтік-құқықтық базаны жаңғыртуда және диагностикалық жабдықтарды таңдауда қолданылуы мүмкін.

Кілт сөздер Аспаптық басқару, диагностикалық жабдықтар, техникалық жағдай, автокөлік құралдары, метрология, жол қауіпсіздігі, сараптамалық жүйелер.

Иванов А.К. *Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль және жол институты, Алматы, Қазақстан*
Шиханов Н.Ю. *Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль және жол институты, Алматы, Қазақстан*
Толегенов А.Ж. *Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль және жол институты, Алматы, Қазақстан*
Касен Ж. *Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль және жол институты, Алматы, Қазақстан*
С.М. Кардасинов *Т.ғ.к., ҚазАЖИ қауымдастырылған профессоры, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль және жол институты, Алматы, Қазақстан E-mail:* polygrafy.m@mail.ru

1. Кіріспе

Аспаптық тексерудің басты міндеті – техникалық ақаулары бар көліктердің жолға шығуын болдырмау. Бұл ретте жол қауіпсіздігі мен қоршаған ортаға әсер ететін маңызды жүйелер мен тетіктерге ерекше көңіл бөлінеді. Дөңгелекті көліктердің техникалық жағдайы мерзімді тексерулерде, шығарылым кезінде, сондай-ақ техникалық қызмет көрсету және жөндеу жұмыстары барысында аспаптық бақылаудан өтеді.

2. Материалдар және әдістер

Тексеру нәтижелерінің дұрыстығын қамтамасыз етудің негізгі шарты – тексеру процестерін жүргізу кезінде белгіленген ережелер мен әдістерді қатаң сақтау болып табылады. Бұл ережелер, сондай-ақ өлшемдердің дәлдігіне қойылатын талаптар және тексеру әдістері МемСТ 33997-2016 «Доңғалақты көлік құралдары. Пайдалану қауіпсіздігі талаптары және тексеру әдістері» стандартында толық сипатталған [3].

Көлік саласындағы техносфера қауіпсіздігін қамтамасыз ету – мемлекеттік реттеудің басты бағыттарының бірі. Заманауи автокөліктердің күрделілігінің артуына байланысты, визуалды тексеруден аспаптық, дәлдікке негізделген тестілеуге көшу қажеттілігі туындады. Электрондық тұрақтылықты басқару жүйелері, гибридті қозғалтқыштар және озық жүргізушіге көмекші жүйелердің енгізілуі диагностикалық инфрақұрылымнан тиісті технологиялық жауапты талап етеді [4, 12]. Диагностикалық жабдықтарды интегралдық микросхемалармен жабдықтаудың қиындығы – желінің өткізу қабілеті мен өлшемдердің сенімділігі арасындағы тепе-теңдікті сақтау қажеттілігімен байланысты. Сондықтан, диагностикалық жабдықтарға қойылатын талаптар метрология, автомобиль жасау және ақпараттық технологиялар салаларының тоғысқан жерінде қалыптасуы тиіс.

Адам факторының әсерін азайту маңызды. Көлік құралдарын сынау станцияларына қойылатын бірінші және ең басты талап – өлшем құралдарының жоғары дәлдігі. Көлік құралдарын техникалық пайдаланудың классикалық теориясында бұл, органолептикалық (адам сезімдеріне негізделген) әдістерден бас тартып, аппараттық өлшемдерге басымдық беруді білдіреді [1, 7]. Бұл талаптың ғылыми негіздемесі – оператордың психофизиологиялық жағдайына байланысты стандартты өлшем қателерін азайту.

Қазіргі заманғы сынақ станциялары өлшем циклін «автоматты түрде іске қосу» және «автоматты түрде аяқтау» режимдерінде жұмыс істеуі керек. Сарапшының рөлі тек көлік құралын роликтерге немесе платформаға орналастырумен шектеледі, ал сипаттамаларды (тежеу күштері, руль күштері, шығарылған газдардың құрамы) тіркеу процесі адамның араласуынсыз жүзеге асырылады [8].

Жабдықтар қатаң дәлдік кластарына сәйкес келуі тиіс. Мысалы, тежегіш сынақтары үшін салыстырмалы күшті өлшеу қателігі ±2%-дан аспауы керек, ал газ анализаторлары OIML стандарттарына сәйкес 0 немесе 00 класына жатуы керек [3, 14]. Өлшемдерді бақылауды қамтамасыз ету үшін кіріктірілген өзін-өзі диагностикалау жүйелері болуы және тексеру мерзімі өткен немесе калибрлеу константалары бұзылған жағдайда жұмысты тоқтату мүмкіндігі қарастырылуы қажет.

Екінші маңызды талап – еңбек қарқындылығын азайту. Операциялық зерттеу тұрғысынан алғанда, диагностикалық желі кезек жүйесі (ҚЖ) ретінде қарастырылады. Тексеру уақытын оңтайландыру үшін ҚЖ параллель деректерді өңдеуді қолдауы керек.

Көлік тежегіш сынақ стендінде тұрғанда, жүйе алдыңғы станциядан деректерді автоматты түрде жүктеуі керек (мысалы, шыны беріліс сынағының немесе ойнату өлшегішінің нәтижелері) [2, 10].

Қазіргі заманғы бағдарламалық жасақтама нақты тежеу күшін қолмен есептеу қажеттілігін жоюы керек. Есептеу формуласы: (формула мәтінде берілмеген, бірақ оның болуы болжанады).

$$\gamma_t = \frac{\sum P_{br}}{M_{fact} * \mathrm{g}} \leq [\gamma_{norm}]$$

мұндағы, $\sum P_{br}$ – тежеу күші, M_{fact} – нақты салмақ, g – еркін түсу үдеуі. DO деректерді енгізу қателерін жоятын стендтің кіріктірілген өлшеу сенсорлары арқылы M_{fact} мәнін дербес алуы керек [6, 13].

*Y*шінші талап құжаттамаға қатысты. Цифрландыру жағдайында нәтижелерді бұрмалаудан қорғау өте маңызды. Тестілеу жүйесінде сынақ стендінің контроллерінен орталық серверге деректерді жіберуге арналған жабық хаттама болуы керек. Оператордың сандық мәндерді реттеу үшін дерекқорға кіру мүмкіндігі болмауы керек [5, 11]. Болжамдық талдауды жүзеге асыру үшін көлік құралдарын тексеру тарихын бірегей VIN кодын пайдаланып жүргізу қажет. Бұл техникалық жағдайдағы үрдістерді дамытуға мүмкіндік береді:

$$T_{res} = f(L, \Delta S)$$

мұндағы, T_{res} – қалдық ресурс, L – жүріс, ΔS – параметрдің ыдырау жылдамдығы. Аймақтық сервер деңгейінде мұндай деректерді жинақтау белгілі бір көлік модельдерінің жұмысындағы ауытқуларды анықтауға мүмкіндік береді [9, 14].

Диагностикалық жабдыққа қойылатын төртінші талап - нақты деректерді стандартты жиынтықтармен салыстыруға арналған интеграцияланған интеллектуалды жүйенің міндетті түрде болуы. Бұл талаптың ғылыми маңыздылығы физикалық параметрлерді жай ғана жазудан аналитикалық қорытындыларды автоматтандырылған түрде жасауға көшуде жатыр. Диагностикалық желіні басқару компьютері тек сандық көрсеткіштерді (мысалы, метрмен тежеу қашықтығы немесе CO2 пайызы) жазып қана қоймай, сонымен қатар олардың қолданыстағы мемлекеттік ережелер мен техникалық талаптарға сәйкестігін автоматты түрде бақылауы керек [3, 15].

Қазіргі заманғы бағдарламалық жасақтамадағы тексеру процесі логикалық сүзгілерге негізделген:

$$If\left(P_{fact} \in [P_{min}, P_{max}]\right) then\ Status = '\ Pass' else\ Status = 'Fail'$$

Бұл оператордың нәтижелерді екі рет түсіндіру мүмкіндігін жояды және қорытынды хаттаманың (диагностикалық картаның) объективтілігіне кепілдік береді.

3. Нәтижелер

Көлік диагностикасындағы жаңашылдықтар: Түсті есеп беру, икемділік және қауіпсіздік. Көлік құралдарын тексеру процесін жақсарту мақсатында, мамандардың жұмысын жеңілдету және көлік иелеріне нәтижелерді айқын көрсету үшін төртінші талап бойынша жаңашыл, түрлі-түсті есеп беру стандарты енгізілді. Бұл әдіс адамның қабылдау қабілетін ескеретін инженерлік психология және визуалды ақпаратты тиімді ұсынуға бағытталған когнитивті визуализация принциптеріне негізделген.

- Жасыл түс (қалыпты жағдай): Параметрлер көлік құралының белгіленген норма шегінде екенін білдіреді.

- Сары/қызғылт сары түс (сақтандыру): Параметрлер қалыпты шекте болғанымен, тозудың маңызды деңгейіне жақын. Бұл алдын алу мақсатындағы жөндеу жұмыстарын жүргізу қажеттігін көрсетеді (мысалы, шина протекторының қалған тереңдігі 1,6 мм-ге жақын болғанда).

- Қызыл түс (қауіпті жағдай): Параметрлер қауіпсіздік шегінен асып кеткен. Мұндай жағдайда көлік құралы ақаулы деп танылып, ақау жойылғанша пайдалануға тыйым салынады.

Бұл визуалды жүйе, көптеген параметрлерді қамтитын күрделі баспа материалдарын талдауға кететін уақытты қысқартады және диагностика процесін барлық қатысушылар үшін түсінікті етеді.

Бұл модульдің нәтижесі басылған форма түрінде беріледі, онда сандық деректермен қатар, "Сәйкес келеді" немесе "Сәйкес келмейді" деген мәтіндік қорытынды болады. Бағдарламалық жасақтаманың өлшеу циклі аяқталғаннан кейін, "таза" форманы басып шығаруға немесе қорытындыны өзгертуге жол бермеу маңызды.

Бұл талап ақпараттық жүйелердегі деректердің тұтастығы қағидаларына сәйкес келеді.

Бесінші және алтыншы талаптар бағдарламалық жасақтаманың икемділігі және аппараттық құралдардың модульділігіне қатысты. Диагностикалық жүйе бірыңғай бағдарламалық қабықпен біріктірілген, функционалдық жағынан тәуелсіз блоктардан (стендтер, құрылғылар, сенсорлар) тұруы тиіс.

Қазақстан Республикасында қолданыстағы ГОСТ 25478-91 (және оның ТР КО 018/2011 бойынша жаңартылған нұсқалары) стандарты бойынша ең аз жиынтыққа тежегіш сынағыш және ойын детекторы кіреді. Алайда, станцияның модульділігі амортизаторларды сынау стендтерін және электронды блоктарды сынау жүйелерін OBD хаттамалары арқылы үздіксіз интеграциялауға мүмкіндік береді.

4. Талқылау

Бірыңғай ақпараттық жүйеге біріктірілген интеграцияланған станциялар келесі артықшылықтарды береді:

а) Ақаулы жабдықтарға қызмет көрсету қажеттілігін болдырмау (сынақ стендтерінің жағдайын бақылау арқылы).

ә) Жөндеуге келмейтін ақаулары бар көліктердің "қара тізімдерін" құру.

б) Тексеру нәтижелері мен аймақтағы нақты апаттылық деңгейі арасындағы байланысты талдау [2, 14].

5. Қорытынды.

Қорытындылай келе, диагностикалық жабдықтарға қойылатын талаптар көлік құралдарының құрылымына сәйкес үнемі жаңартылып отыруы қажет екенін атап өткен жөн. Қазіргі заманғы аспаптық сынақ станциясы – бұл тек құрылғылар жиынтығы ғана емес, сонымен қатар автономды, қауіпсіз және болжамды функциялары бар жоғары технологиялық өлшеу кешені. Ұсынылған стандарттарды енгізу мемлекеттік бақылаудың тиімділігін айтарлықтай арттырып, жол қозғалысы қауіпсіздігін нақты жақсартуға ықпал етеді.

Әдебиеттер тізімі

1. «Доңғалақты көлік құралдарының қауіпсіздігі туралы» Кеден одағының техникалық регламенті (КО ТР 018/2011).
2. Афанасьев Л. Л. «Техническая эксплуатация автомобилей». Учебник для вузов. — М.: Транспорт, 2018.
3. ГОСТ 33997-2016. «Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки».
4. Волков А. С. «Автоматизация диагностических процессов на транспорте». — Алматы: Гылым, 2020.

5. Иванов И. П. «Метрологическое обеспечение диагностического оборудования». — М.: Стандартинформ, 2019.
6. Кузнецов Е. С. «Управление технической эксплуатацией автомобилей». — М.: Прайм-Лань, 2021.
7. Макаров В. В. «Теория и практика инструментального контроля АТС». — СПб: СевЗапТранс, 2022.
8. Савич Е. Л. «Инструментальный контроль технического состояния транспортных средств». — Минск: Новое знание, 2017.
9. Сидоров Б. М. «Информационные технологии в системах технического осмотра». — Екатеринбург: УрФУ, 2020.
10. Heißing, B., Ersoy, M. «Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives». — Vieweg+Teubner Verlag, 2011.
11. Reimpell, J., Betzler, J. «The Automotive Chassis: Engineering Principles». — Butterworth-Heinemann, 2001.
12. Directive 2014/45/EU of the European Parliament and of the Council on periodic roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers.
13. ISO 21069:2004. «Road vehicles — Test of braking systems on vehicles with maximum authorized total mass of more than 3.5 t using roller brake testers».
14. OIML R 99-1. «Instruments for measuring vehicle exhaust emissions».
15. ҚР СТ 1418-2018. Автомотокөлік құралдары, конструкцияға өзгерістер енгізу. Жалпы ережелер және техникалық талаптар.

УДК 621. 869
МРНТИ 73.31.41

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ МОЗАИЧНЫХ ПОКРЫТИЙ С ЦИКЛОИДАЛЬНО-ПЛАНЕТАРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

***[1] Мурзахметова У.А., [1] Рябков М.А., [1] Мочалин М.Б., [1] Одношевный Б.А., [1] Сохранов А.А.**

[1] Казахский автомобильно—дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г.Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: u_murzakhmetova@mail.ru

Аннотация	В настоящем исследовании рассматривается специализированное оборудование, предназначенное для механической обработки твёрдых покрытий, включая бетонные основания, изделия из натурального и искусственного камня, а также мозаичные полы. Реализация технологического процесса осуществляется в два этапа: предварительная подготовка поверхности и финишная обработка. На стадии подготовки выполняется устранение локальных дефектов, таких как углубления, неровности и перепады высот, а также корректировка геометрических отклонений, возникающих при укладке или монтаже элементов. Данный подход обеспечивает формирование однородного и технологически пригодного основания для последующих операций. Финишная обработка направлена на создание заданного микрорельефа поверхности и полировку кромок, что способствует улучшению адгезионных свойств основания и повышению эксплуатационных характеристик покрытий. Конструктивные решения станков предусматривают существование ручных и самоходных модификаций. Ручные установки перемещаются оператором и применяются при ограниченном объёме работ или в условиях стеснённых пространств. Самоходные агрегаты оснащаются автономным приводным шасси, что позволяет эффективно обрабатывать значительные по площади поверхности при снижении трудозатрат и повышении производительности. Анализ современных конструктивных схем выявил ограниченность потенциала традиционных ручных машин в повышении производительности. В связи с этим рассматривается возможность создания устройств с планетарно-роторными рабочими органами либо усовершенствования существующих станков за счёт внедрения новых видов вращательного движения элементов.

Ключевые слова	Шлифовальные машины, циклоидальное движение, обработка мозаичного покрытия, рабочие органы полировальной машины

Мурзахметов а У.А.	К.т.н., доцент, Кафедры «ТИиИТ», Казахский автомобильно-дорожный институт, г. Алматы, Казахстан, *E-mail:* u_murzakhmetova@mail.ru
РябковМ.А.	*Студент, ОП «6В07107 – Транспорт, транспортная техника и технологии» КазАДИ, г. Алматы, Казахстан. E-mail: masikoshka@inbox.ru*
Мочалин М.Б.	*Студент, ОП «6В07107 – Транспорт, транспортная техника и технологии» КазАДИ, г. Алматы, Казахстан. E-mail: Jeki5405@gmail.com*
Одношевный Б.А.	*Студент, ОП «6В07107 – Транспорт, транспортная техника и технологии» КазАДИ, г. Алматы, Казахстан. E-mail: bagapro007@gmail.com*
Сохранов А.А.	*Студент, ОП «6В07107 – Транспорт, транспортная техника и технологии» КазАДИ, г. Алматы, Казахстан. E-mail: a_sokhranov@mail.ru*

1. Введение

В современных условиях развития строительной отрасли и промышленного производства существенно возрастает роль качественного выполнения отделочных процессов, в том числе операций по обработке напольных покрытий. Особое место среди них занимают мозаичные полы, отличающиеся высокой механической прочностью, устойчивостью к абразивному износу и значительным декоративным потенциалом. Практика эксплуатации показывает, что долговечность и внешний вид таких покрытий в значительной степени определяются параметрами их поверхности, включая микрогеометрию, равномерность структуры и степень финишной обработки. Указанные требования обуславливают необходимость применения специализированных технических средств, обеспечивающих стабильное качество обработки [1, 2].

Одним из направлений совершенствования оборудования для шлифования является использование кинематических схем, основанных на реализации циклоидальных траекторий движения рабочих органов. В отличие от традиционных решений, данный подход позволяет формировать сложное пространственное перемещение абразивных элементов, при котором достигается более равномерное распределение контактных усилий по обрабатываемой поверхности. Это способствует снижению локальных перегрузок, уменьшению вероятности образования дефектов и повышению однородности получаемого покрытия [3].

Актуальность внедрения машин с подобной кинематикой определяется необходимостью интенсификации технологических процессов при одновременном снижении энергетических затрат. Дополнительным фактором является стремление к повышению эксплуатационных характеристик готовых покрытий, включая их износостойкость и эстетические показатели. Следует отметить, что применение циклоидального движения расширяет функциональные возможности оборудования, обеспечивая эффективную обработку широкого спектра материалов, таких как бетонные основания, а также изделия из природных и композиционных каменных материалов.

Исследование принципов построения, конструктивных решений и режимов работы машин с циклоидальным движением рабочих органов представляет собой важную научно-техническую задачу, направленную на повышение эффективности процессов шлифования и обеспечение требуемого качества отделки.

Целью настоящего исследования является комплексное обоснование конструктивных и технологических параметров машины для обработки мозаичных покрытий, реализующей циклоидальный закон движения рабочих органов, обеспечивающей повышение качества обработки и производительности процесса.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи: провести теоретический анализ кинематических особенностей циклоидального движения и оценить его влияние на параметры процесса шлифования; определить основные факторы, влияющие на эффективность работы машины, и обосновать их оптимальные значения.

2. Материалы и методы

 ISBN 978-601-08-5209-9

В лаборатории «Транспортное техника и технологии» кафедры «ТИиИТ» КазАДИ разработан и создан аппарат для механической обработки мозаичных полов, использование которого позволяет комплексно механизировать весь процесс обработки и декорирования мозаичных и других полов [4]. Аппарат для обработки полов показан на рисунке 1, он включает в себя колесную раму 5, на которой установлены двигатель 4 и две рабочие головки 1 с резцами 2. На валу двигателя 5 закреплен шкив 3, передающий вращение на резцы 2 рабочих головок 1. Каждый резец в плане имеет форму правильного многоугольника, например, треугольника (рис. 2). Его режущие кромки выполнены по трехоиде, описываемой вершиной многоугольника. Это позволяет при вращении резца и смещении его центра из-за эксцентрического положения получать прямолинейное движение резца.

Вращение от шкива 3 двигателя 4 передается на шкив 6, расположенный между рабочими головками 1. На оси шкива 3 закреплена шестерня 7, которая находится в зацеплении с зубчатыми колесами 8 обеих рабочих головок. Дальнейшая передача движения осуществляется в виде планетарных механизмов головок.

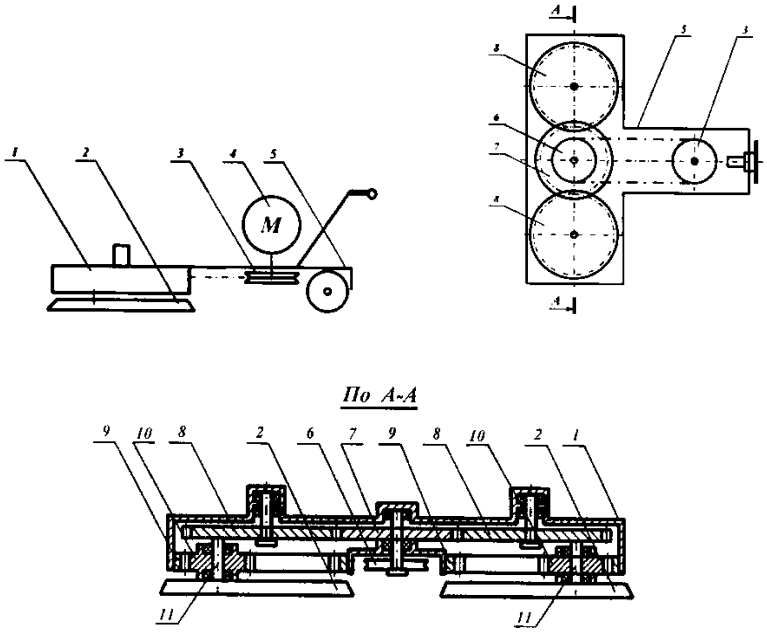


Рисунок 1. Схема устройства для механической обработки мозаичных полов

Каждый планетарный механизм содержит зубчатое колесо 9 с внутренним зацеплением и сателлит R) в виде шестерни малого диаметра, установленной для вращения на оси эксцентрично расположенной шестерни 10 и 8, которая действует как несущая и находится в зацеплении с зубчатым колесом 9.

При соединении шестерен 8 с шестерней 7 они устанавливаются таким образом, чтобы эксцентриковые оси 10 работали в противофазе друг с другом и уравновешивали массы двух эксцентрично вращающихся рабочих головок. В частности, если одна ось 10 в какой-либо точке находится слева от центральной оси своей головки, то вторая ось 10 должна располагаться в диаметрально противоположной точке второй головки справа от ее центральной оси.

Вместо зубчатой передачи вращения от шкива 6 к рабочим головкам может использоваться ременная передача, например, клиноременная.

3. Результаты

Кинематическая схема рассматриваемого устройства основана на последовательном преобразовании вращательного движения в сложное пространственное перемещение

рабочих органов. Источником энергии служит электродвигатель, от вала которого движение передаётся на систему промежуточных звеньев, включающую ремённую и зубчатую передачи. Первичный перенос вращения осуществляется через ведущий шкив на промежуточный элемент, расположенный в зоне между рабочими головками, после чего движение распределяется между ними посредством зубчатого зацепления.

Конструктивно рабочие головки представляют собой автономные узлы, в которых реализован планетарный принцип передачи движения. Основу каждого такого узла составляет зубчатая система с внутренним зацеплением, взаимодействующая с сателлитом малого диаметра. Сателлит установлен на оси, смещённой относительно геометрического центра механизма, обеспечивающим её орбитальное перемещение. В результате такого взаимодействия формируется комбинированное движение, включающее вращение элемента вокруг собственной оси и его одновременное перемещение по окружности.

4. Обсуждение

Особенностью конструкции является эксцентричное размещение осей вращения рабочих элементов. Это приводит к тому, что при работе механизма возникает наложение двух движений: собственного вращения и переносного движения центра масс. Для компенсации возникающих инерционных эффектов применяется принцип фазового противопоставления: эксцентриситеты двух рабочих головок ориентируются диаметрально противоположно. Такая схема позволяет существенно снизить динамическую неуравновешенность системы и минимизировать вибрации в процессе эксплуатации.

Рабочие органы выполнены в виде многогранных резцов, форма которых в проекции соответствует правильным многоугольникам. Геометрия режущих кромок определяется кривыми трохоидального типа, формируемыми траекторией движения характерных точек многогранника. При функционировании механизма каждая точка резца движется по сложной криволинейной траектории, которая в кинематическом отношении описывается как гипотрохоида. При этом режущие кромки не выходят за пределы формируемой траектории, а перекатываются вдоль неё.

Сочетание эксцентрического вращения и планетарного движения приводит к тому, что результирующее перемещение режущих участков приобретает квазилинейный характер. Это создаёт предпосылки для эффективной обработки поверхностей, включая зоны с ограниченным доступом.

Функциональный цикл работы устройства реализуется следующим образом. При подаче питания на электродвигатель формируется вращательное движение, которое через систему передач поступает на планетарные механизмы рабочих головок. Внутри каждого механизма происходит преобразование движения: эксцентрично расположенные оси совершают орбитальное перемещение, одновременно обеспечивая вращение закреплённых на них элементов. В результате резцы выполняют сложное движение, обеспечивающее требуемую траекторию режущих кромок.

Таким образом, предложенная компоновка механизма обеспечивает преобразование простого вращательного движения в кинематически сложное, но функционально целесообразное перемещение рабочих органов. Применение планетарных передач в сочетании с эксцентрическим расположением осей и фазовой балансировкой позволяет повысить эффективность обработки и снизить уровень динамических нагрузок, что положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках устройства (рис. 2).

 ISBN 978-601-08-5209-9

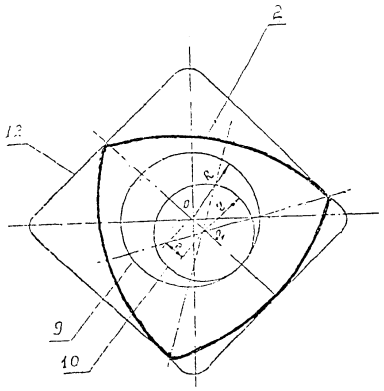


Рисунок 2. Схема резца рабочей головки

Мозаично-шлифовальные станки представляют собой специализированные технические средства, предназначенные для механического воздействия на поверхности, обладающие повышенной твёрдостью. К числу обрабатываемых материалов относятся бетонные основания, изделия из природного и искусственного камня, а также мозаичные покрытия. Функциональные возможности данного оборудования охватывают полный цикл обработки – от черновой подготовки до окончательной отделки поверхности.

На начальной стадии технологического процесса данные установки применяются для формирования геометрически корректного основания. В частности, осуществляется устранение поверхностных дефектов, включая локальные углубления, неровности и перепады высот. Кроме того, производится коррекция отклонений формы, возникающих в результате укладки или монтажа облицовочных элементов. Реализация указанных операций обеспечивает получение однородной поверхности с требуемыми параметрами, пригодной для последующих технологических воздействий.

Финишная обработка направлена на формирование заданных характеристик микрорельефа поверхности. Регулирование параметров шероховатости имеет принципиальное значение с точки зрения повышения адгезионных свойств основания, что особенно важно при нанесении клеевых составов и различных покрытий. Используется для обработки кромок и полирования поверхностей каменных материалов, обеспечивая достижение требуемых эксплуатационных и декоративных показателей.

С конструктивной точки зрения мозаично-шлифовальные станки подразделяются на ручные и самоходные. Ручные модификации характеризуются перемещением по обрабатываемой поверхности за счёт усилий оператора и применяются преимущественно при выполнении работ в условиях ограниченного пространства либо при малых объёмах обработки. В отличие от них, самоходные агрегаты оснащаются приводной ходовой системой, что позволяет автоматизировать процесс перемещения и эффективно использовать оборудование при обработке значительных по площади объектов, повышая производительность и снижая трудоёмкость.

5. Выводы

Проведённые исследования свидетельствуют о том, что наибольший практический интерес представляют кинематические схемы, реализующие циклоидальный характер движения. В подобных системах используются рабочие органы, геометрия которых формируется с учётом свойств эпи- и гипотрохоидальных кривых. Применение указанных зависимостей позволяет обеспечить более рациональное распределение траекторий движения, что способствует повышению эффективности обработки и улучшению качества формируемой поверхности.

Таким образом, развитие мозаично-шлифовального оборудования связано с переходом к более сложным кинематическим структурам, обеспечивающим комбинированные траектории движения рабочих органов и расширение технологических возможностей обработки твёрдых материалов.

Литература

1. Недорезов И.А., Кабашев Р.А. Машины строительного производства и их рабочие среды взаимодействия. Москва-Алматы, Бастау, 2013.– 444 с.
2. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации. М., Высшая школа, 2003. – 575 с.
3. Строительные машины и оборудование: Справочник / С.С. Добронравов, М.С. Добронравов. М., Высшая школа, 2006. – 445 с.
4. Зорин В.А., Даугелло В.А. Безопасность дорожно-строительных машин и оборудования. М.МАДИ, 2013 г. – 192 с.
5. 5 Кузнецов, В. В. Машины для земляных работ. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. – 443 с.
6. Каримов М.С., Мирзаев Б.С., Вафоев С.Т. Строительные машины. Ташкент. 2020.- 54 с.
7. Рабат О.Ж., Ли С.В., Мурзахметова У.А., Нургалиева М.Р./ Конструктивные особенности валковой дробилки со сложным движением рабочих органов// Транспортное, горное и строительное машиностроение: Наука и производство. Выпуск 1, 2018. С. 38-44
8. Ли С.В., Нургалиева М.Р., Мурзахметова У.А., Сипаков И.Н. / Исследование геометрических характеристик электромеханических ножниц с циклоидальным движением рабочих органов// Журнал: Известия НТО «Кахак». №2. 2017. – С. 74-79.
9. Патент РК №31859. Ручные электроножницы. Опубл. 28.02.2017 г. Бюл. №4. Ли С.В. и др.
10. Шестопалов, К.К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование / К.К. Шестопалов. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. - 320 с.

УДК 621. 869
МРНТИ 73.31.41

ТОЗУДЫ МОДЕЛЬДЕУМЕН МАШИНАЛАРДЫҢ АЙНАЛМАЛЫ КИНЕМАТИКАЛЫҚ ЖҰПТАРЫ МЕХАНИЗМДЕРІНІҢ ҮЙКЕЛІС ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ БЕРІКТІГІН АРТТЫРУ МӘСЕЛЕЛЕРІ

***[1] Мурзахметова У.А., [1] Тойбалаев И.М., [1]Бекбосын Д.Б.., [1]Жумаханов А.Ж., [1]Бахридін Р.Б.**

[1] Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ., Қазақстан
*Автор-корреспондент e-mail: u_murzakhmetova@mail.ru

Андатпа	Бұл мақалада машиналардың кинематикалық жұптпрдың үйкеліс беттерінің тозуға төзімділігін арттыру жолдары қарастырылды. Тозуға қарсы жабындарды тиімді қолдану, сырғанау жылдамдығы мен жанасу қысымының әсері, сондай-ақ машинаның динамикалық және кинематикалық сипаттамаларының тозу үдерісіне ықпалы талданды. Сонымен қатар, кинематикалық жұптпрдың уақыт бойынша тозуын сандық бағалау әдістері ұсынылады. Кинематикалық жұптар элементтерінің күтілетін тозуын есептеу үшін механизмнің кинематикалық сипаттамалары алдын-ала анықталды және динамикалық жүктемеге зерттеу жүргізілді. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде кинематикалық жұптардың тозуға төзімділігін арттыруда үйкеліс беттеріне қолданылатын жабындардың қасиеттерін дұрыс таңдау шешуші

	рөл атқаратыны анықталды. Тозу процесінің қарқындылығы сырғанау жылдамдығы, жанасу қысымы және материалдардың физика-механикалық сипаттамалары сияқты негізгі факторларға тәуелді екендігі дәлелденді. Сонымен қатар, машинаның жұмыс режимінің айнымалылығы, атап айтқанда жетек білігінің айналу жылдамдығының өзгеруі, кинематикалық жұптардың тозу динамикасына елеулі әсер етеді. Осыған байланысты, тозуды бағалау кезінде машинаның кинематикалық және динамикалық параметрлерін кешенді түрде ескеру қажеттігі негізделді. Ұсынылған сандық бағалау әдісі кинематикалық жұптардың тозу деңгейін алдын ала болжауға және олардың жұмыс қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік береді. Қорытындылай келе, зерттеу нәтижелері машиналардың сенімділігін арттыру және олардың қызмет ету мерзімін ұзарту мақсатында тозуға қарсы инженерлік шешімдерді жетілдірудің ғылыми негізін құрайды.
Түйінді сөздер	Тозу, кинематикалық жұп, үйкеліс механизмдері, модельдеу, беріктікті арттыру әдістері, тозуға төзімділік
Мурзахметова У.А.	К.т.н., доцент, Кафедры «ТИиИТ», Казахский автомобильно-дорожный институт, г. Алматы, Казахстан, *E-mail:* u_murzakhmetova@mail.ru
Тойбалаев И.М.	*Студент, ББББ «6В07107 – Көлік, көлік техникасы және технологиялар» ҚазАЖИ, Алматы қ., Қазақстан. E-mail:* arnurkib@gmail.com
Бекбосын Д.Б.	*Студент, ББББ «6В07107 – Көлік, көлік техникасы және технологиялар» ҚазАЖИ, Алматы қ., Қазақстан. E-mail:* dosbolbekbosyn@gmail.com
Жумаханов А.Ж.	*Студент, ББББ «6В07107 – Көлік, көлік техникасы және технологиялар» ҚазАЖИ, Алматы қ., Қазақстан. E-mail:* aidos.zhumahanovvv05@mail.ru
Бахридін, Р.Б.	*Студент, ББББ «6В07107 – Көлік, көлік техникасы және технологиялар» ҚазАЖИ, Алматы қ., Қазақстан. E-mail:* rauanbakhridin@gmail.com

1. Кіріспе

Қазіргі уақытта машина бөлшектерінің жұмыс беттеріне тозуға төзімді жабындарды қолдану технологиясы кеңінен қолданылады. Егер мұндай қолдану модельдеу мен сандық эксперимент негізінде тозған беттердің пішіні мен мөлшерін алдын-ала болжаумен жүргізілсе, жұмыс ресурсын арттырудың және жұмыс беттерінің мөлшерін қалпына келтірудің осы әдісінің тиімділігі едәуір жақсаруы мүмкін. Алайда, мұндай модельдеу белгілі бір жылжымалы қосылыстың тозуын анықтайтын қуат, жылдамдық және уақыт параметрлерінің нақты арақатынасын барынша көрсетуі керек. Бұл үйкеліс элементтерінің күштік өзара әрекеттесуі механизмдер буындарының кинематикалық және массалық сипаттамаларымен ғана емес, сонымен қатар қозғаушы күштердің (жетек қозғалтқышының) және қарсылық күштерінің (орындалатын технологиялық операция) қатынасымен анықталуы керек дегенді білдіреді. Бұл жалпыланған координаттың әрбір нақты мәніндегі (жетек білігінің айналу бұрышы) машина механизмдерінің кинематикалық жұптарындағы реакциялар әр түрлі болатындығы туралы. Әрбір осы позициядағы олардың мәндерін анықтау жеке буындардың күштік өзара әрекеттесуінің жеке ерекшеліктерін, олардың салмағын, қозғалысқа қатысты кинематикалық ерекшеліктерін, сондай-ақ жылжымалы қосылыстардағы үйкеліс күштерін ескеруді талап етеді. Басқаша айтқанда, тозған беттердің конфигурациясын бағалауға механизмді емес, жетекті (қозғалтқыш, жылдамдық қорабы) және шығыс буынына технологиялық қарсылық күші қолданылатын атқарушы механизмді біріктіретін машина қондырғысын қою ұсынылады. Басқаша айтқанда, бөлшектердің үйкеліс беттерінің тозу диаграммасын бағалаудың негізіне белгілі бір жетек қозғалтқышы бар белгілі бір жұмыс машинасының қуат, кинематикалық, массалық және геометриялық сипаттамаларын қою ұсынылады. Бұл тәсіл жылжымалы буындардың үйкелетін беттерінің тозу ерекшеліктерін дәлірек анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, әр кинематикалық жұптың тозу ерекшеліктерін жеке-жеке анықтауға болады. Бұл, өз кезегінде, ең қарқынды тозған қосылыстардың тозуын анықтау арқылы беріктікті арттыру мәселелерін ғана емес, сонымен қатар белгілі бір машинаға кіретін механизмдердің барлық кинематикалық жұптарының тозуы бойынша тең ресурстық мәселені шешуге мүмкіндік береді, мысалы, олардың тозу коэффициентінің әртүрлі мәні бар тозуға төзімді жабындарды қалыптастыру арқылы орындалады.

2. Материалдар және әдістері

Беріктіктің осындай жоғарылауына қол жеткізу үшін бөлшектердің үйкеліс беттеріне көлденең бағытта қолданылатын тозуға төзімді жабындарды олардың тозу

диаграммаларына сәйкес қолдану ұсынылады, осылайша бетінің тозуға төзімділігі жоғары және керісінше жабындар қолданылады. Бұл ретте, бұрын айтылғандай, буындардың жылжымалы қосылыстарының тозған беттерінің конфигурациясын бағалау кезінде сырғанау жылдамдығы мен олардағы қысым тұтастай алғанда машинаның кинематикалық және динамикалық сипаттамаларын ескере отырып анықталады, яғни. жетек қозғалтқышының сипаттамасын және технологиялық кедергі Күшін ескерумен іске асырылады.

Жоғарыда айтылғандардың бәріне, сонымен қатар, цикл ішіндегі машинаның жалпыланған жылдамдығы (оның негізгі жетек білігінің айналу жылдамдығы) тұрақты болып қалмайтынын, бірақ өзгеретінін ескеру ұсынылады. Көбінесе жеке кинематикалық жұптың тозуға төзімділігін арттыру қажет, өйткені ең ауыр және тез тозады. Бұл жағдайда жоғарыда аталған параметрлерге байланысты мұндай қосылыстың тозу сипатын білу қажет.

t жұмыс уақытында машинаның жылжымалы элементтерінің (кинематикалық жұптардың) тозуын сандық бағалау өрнек негізінде жүзеге асырылады [1]

$$u = k \int_0^t p\vartheta_{ck} dt \tag{1}$$

мұндағы u – тозу; p – үйкелетін беттердің жанасу аймағындағы қысым; ϑ_{ck} – сырғанау жылдамдығы (салыстырмалы жылдамдық); k – тозу коэффициенті.

Машиналардағы процестердің циклдік сипаты жалпыланған координатаның кейбір функциясы ретінде жалпыланған жылдамдықпен анықталады. Егер жалпыланған координат φ – машинаның жетек білігінің айналу бұрышы болса, онда жалпыланған жылдамдық ω = dφ/dt. Содан кейін машинаның тұрақты қозғалысының бір цикліндегі тозуды (φ = фц) формула бойынша анықтауға болады

$$u = k \int_0^{\varphi_ц} p \frac{\vartheta_{ck}}{\omega} d\varphi$$

$\frac{\vartheta_{ck}}{\omega}$ мәні – сырғанау жылдамдығының аналогы (беріліс функциясы). Егер 1 және 2 сілтемелер айналмалы кинематикалық жұпты құраса, онда

$$\frac{\vartheta_{ck}}{\omega} = \left|\frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega}\right| r = |i_1 - i_2| r \tag{3}$$

мұндағы r – жұптың цилиндрлік элементтерінің радиусы; $i_1 = \frac{\omega_1}{\omega}$ және $i_2 = \frac{\omega_2}{\omega}$ – 1 және 2 буындардың берілу функциялары (жалпыланған координат берілген бастапқы буынға қатысты).

Тозу коэффициентін формула бойынша есептеуге болады

$$k = \frac{J_u}{p_{cp}} \tag{4}$$

мұндағы J_u – тозу қарқындылығы (үйкеліс жолының бірлігіне келетін тозу), p_{cp} – қысымның орташа мәні p. J_uшамасы материалдың физика-математикалық қасиеттерінің функциясы болып табылады және тәжірибелік мәліметтер негізінде анықталады [1]. Байланыс аймағындағы қысымның таралу заңы тозған жанасу беттерінің пішінімен

анықталады [1], яғни тозу қысымға байланысты және керісінше. Көбінесе цилиндрлік беттер үшін қысымның таралуы косинусоидалы болады:

$$p = p_{max} cos\alpha \quad (5)$$

мұндағы α – үйкеліс бетіне қалыпты бағыттан есептелген есептік қиманың бұрыштық координаты, -90° ≤ α ≤ 90°. Сәйкес [2, 3]

$$p_{max} = \frac{2R}{\pi br} \quad (6)$$

мұндағы R – кинематикалық жұптағы қалыпты реакция; b – үйкеліс бетінің осьтік өлшемі (мойынтіректің ені). Содан кейін

$$p = \frac{2R}{\pi br} cos\alpha \quad (7)$$

R реакциясының шамасы мен бағыты бойынша айнымалы болған кезде (2) формула әрбір лездік позиция үшін қолданылуы керек.

(2) – (4) өрнектерін ескере отырып, айналмалы жұпты құрайтын буындардың тозуын тұрақты қозғалыстың бір циклінде келесідей көрсетуге болады:

$$u_1^{ц} = \frac{2k_1}{\pi b_1} \int_0^{\varphi_ц} R_{21} |i_1 - i_2| cos\alpha_1 d\varphi$$

$$u_2^{ц} = \frac{2k_2}{\pi b_2} \int_0^{\varphi_ц} R_{21} |i_1 - i_2| cos\alpha_2 d\varphi$$

1-суретте қолданылатын координаттар жүйелері мен олардың бұрыштық параметрлері көрсетілген 1-2 айналмалы жұптың схемасы көрсетілген. Пайдаланамыз мынадай белгілер: β_1 – бұрыштық координатасы есептік қимасының координаттар жүйесінде X_1Y_1 байланысты буыны 1; β_2 – бұрыштық координатасы осы қима координаттар жүйесінде X_2Y_2 байланысты буыны 2; φ_R – арасындағы бұрыш векторы реакция R_{21} және абсцисс осі қозғалмайтын координаттар жүйесін X_0Y_0; φ_1 және φ_2 – бұрыштық координаттары буындарының 1 және 2 (олардың функциясы ережелер). Содан кейін сілтеме үшін 1

$$\alpha_1 = \varphi_1 + \beta_1 - \varphi_R$$

Сол сияқты 2 сілтеме үшін

$$\alpha_2 = \varphi_2 + \beta_2 - \varphi_R$$

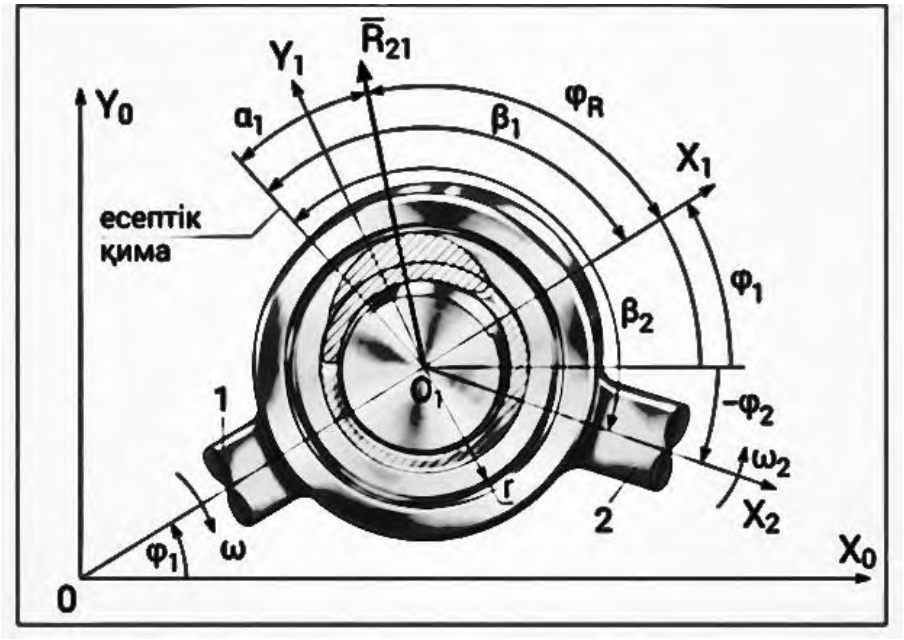
Егер сілтемелердің бірі, мысалы, 2-сілтеме айналмалы қозғалысқа ие болмаса (жүгірткі немесе кереует), онда $i_2 = 0$ және $\varphi_2 = 0$.

В β және β_2 бұрыштарының бірқатар дәйекті мәндерін беру және осы координаталары бар нүктелерде u_1 және u_2 тозуын анықтау арқылы айналмалы жұп элементтерінің тозуының таралу диаграммаларын салуға болады.

3. Нәтижелер және талқылау

Кинематикалық жұптар элементтерінің күтілетін тозуын есептеу үшін механизмнің кинематикалық сипаттамалары алдын-ала анықталады және сілтемелер қозғалысының нақты Заңын ескере отырып, оның динамикалық жүктемесін зерттеу жүргізіледі.

Көрсетілген әдістеме негізінде алгоритм жасалып, айналмалы кинематикалық жұп элементтерінің тозуын есептеу үшін кіші бағдарлама жасалды. Бұл ішкі бағдарламаның алгоритмінің схемасы 2 суретте көрсетілген. Ішкі бағдарламаның кіріс параметрлері: J_{u1} және J_{u2} – тозу қарқындылығы; b – мойынтіректің ұзындығы мен r радиусы (сурет бойынша.1); $N_{ц}$ – циклдардың есептік саны; n – кіші бағдарламаға берілетін массивтердің өлшемі; $\varphi_{об}$ – жалпыланған координаталар мәндерінің массиві; i_1 және i_2 – 1 және 2 буындардың берілу функцияларының массивтері; R_{21} – реакция мәндерінің массиві; φ_R – R_{21} мен X осі арасындағы бұрыш мәндерінің массиві x; φ_1 және φ_2 – бұрыштық координаталар мәндерінің массивтері.

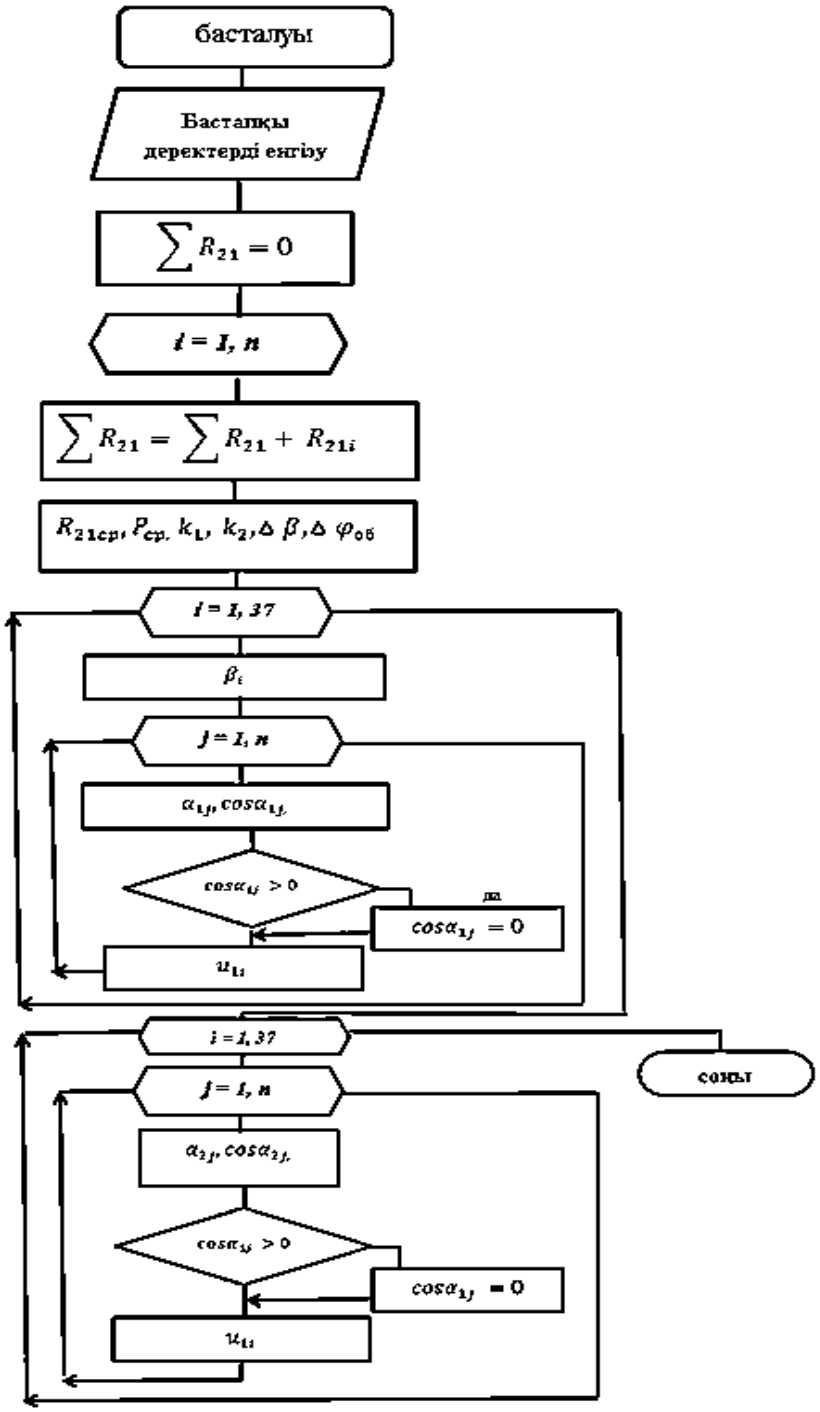


Сурет 1. Айналмалы байланыстарды қосу схемасы: иінді 1, байланыстырушы шыбық 2

2-5 блоктарда цикл үшін орташа мәндер $R_{21ср}$ және $p_{ср}$, тозу коэффициенттері k_1 және k_2, қадам $\triangle\beta = \frac{2\pi}{36}$, қадам $\triangle\varphi_{об} = \frac{2\pi}{n-1}$ есептеледі. 6-7 блоктар β_1 бұрышында сыртқы циклды, ал 8-12 блоктар $\varphi_{об}$ бұрышында ішкі циклды ұйымдастырады. Осылайша, әрбір β_1 бұрышы үшін (0-ден 2π-ге дейін) барлық тұрақты қозғалыс циклі үшін кинематикалық жұптың бірінші буыны үшін u_{1i} тозуын есептеу орындалады ($0 \leq \varphi_{об} \leq 2\pi$), содан кейін $N_{ц}$ циклдерінің берілген саны үшін. бұл жағдайда $|\alpha_i| > \frac{\pi}{2}$ болатын нүктелер санаудан шығарылады.

Сол сияқты, 13-18 блоктарда кинематикалық жұптың екінші буыны үшін тозуды есептеу ұйымдастырылған.

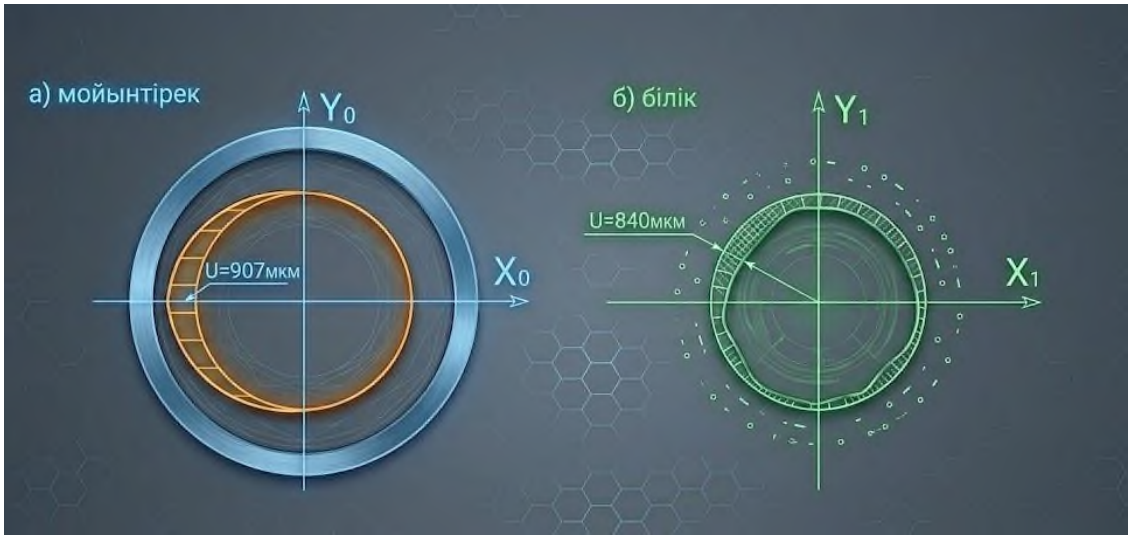
 ISBN 978-601-08-5209-9



Сурет 2. Айналмалы жұп элементтерінің тозуын бағалау алгоритмінің схемасы

Мысал ретінде 3-ші суретте $N_{\text{ц}} = 10^8$ жүктеме циклдарының саны үшін сырғытпаға қолданылатын $F_{3max} = 120000H$ максималды технологиялық кедергі күші кезінде атқарушы иінді сырғымалы механизмі бар көлденең соғу машинасында иінді білік – төсек кинематикалық жұп элементтерінің тозу диаграммалары ұсынылған. 3-ші суреттен көрініп тұрғандай екі бөліктің жұмыс беттерінің тозуы максималды тозудың әртүрлі мәндерімен біркелкі емес. Бұл жанасатын беттердің қаттылық коэффициенттерін таңдау тозуды белгілі бір бөлікке шоғырландыруға байланысты жөндеудің ыңғайлылығын және тозған екі бетке де тозуға төзімді жабындарды қолданғаннан кейінгі жұмыс жағдайларын ескеруі керек дегенді білдіреді. Шындығында, үлкен тозуы бар жерлерде қысым азаяды,

ал аз тозуы бар жерлерде ол жұмыс кезінде қысымның өзгермейтін күшімен артады. Жанасатын беттердің тозу сипатын білу беттердің жекелеген учаскелері бойынша жабынның тозуға төзімді құрамдас бөліктерінің таралуын (шоғырлануын) басқара отырып, оларды өңдеу ерекшеліктерін ескере отырып, жұмыс беттерінде тозуға төзімді жабындарды қалыптастыру мүмкіндігін білдіреді.



Сурет 3. Иінді – сырғымалы жетегі бар көлденең соғу машинасының «иінді білік-мойынтірек» кинематикалық жұп элементтерінің жұмыс беттерінің тозу диаграммалары

Мұнда тозуға байланысты машинаның жұмысының бұзылуының тағы бір ерекшелігін ескеру қажет. 3-суреттен көріп отырғанымыздай, тозғаннан кейін біліктің айналу осі жергілікті тозуға қарай жылжиды; бұл жағдайда оның айналу центризмі айналу осіне қатысты массалардың асимметриялық таралуына байланысты бұзылады. Жөндеуден кейін біліктің тозу сипатын ескермей қалпына келтіру оның одан әрі теңгерімсіздігіне әкеледі және мұндай қосылыстың өнімділігі нашарлауы мүмкін. Бұл жерде бөлшекті жергілікті біркелкі емес тозумен жаңасына ауыстыру айналу осінің бұзылған бастапқы орнын қалпына келтіретінін ескеру қажет. Сонымен қатар, тозудың біркелкі таралуы беткі қабаттың үлкен қаттылығымен бірге күрделі және қымбат бөліктің тозу бетінің центризмін бұзбай аздап тозуын қамтамасыз етеді; жұмсақ беткі қабатпен біріктірілген жергілікті тозу сипаты тозуды арзан, оңай ауыстырылатын бөлікке (әдетте жеңге немесе төсемге) шоғырландырады, бұл жөндеуді жеңілдетеді. Осы және басқа да ерекшеліктердің барлығын қымбат және кейде мүмкін емес эксперименттік зерттеулерсіз тозу процестерін модельдеу негізінде қарастыруға болады.

4. Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде кинематикалық жұптардың тозуға төзімділігін арттыруда үйкеліс беттеріне қолданылатын жабындардың қасиеттерін дұрыс таңдау шешуші рөл атқаратыны анықталды. Тозу процесінің қарқындылығы сырғанау жылдамдығы, жанасу қысымы және материалдардың физика-механикалық сипаттамалары сияқты негізгі факторларға тәуелді екендігі дәлелденді. Сонымен қатар, машинаның жұмыс режимінің айнымалылығы, атап айтқанда жетек білігінің айналу жылдамдығының өзгеруі, кинематикалық жұптардың тозу динамикасына елеулі әсер етеді.

Осыған байланысты, тозуды бағалау кезінде машинаның кинематикалық және динамикалық параметрлерін кешенді түрде ескеру қажеттігі негізделді. Ұсынылған сандық бағалау әдісі кинематикалық жұптардың тозу деңгейін алдын ала болжауға және олардың жұмыс қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, зерттеу нәтижелері машиналардың сенімділігін арттыру және олардың қызмет ету мерзімін ұзарту мақсатында тозуға қарсы инженерлік шешімдерді жетілдірудің ғылыми негізін құрайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Лукьянов Д.М., Тимофеев Г.А. Расчет износа элементов кинематических пар с использованием ЭЦВМ. – М.: МВТУ, 1984. – 36с.;
2. Теория механизмов и машин / Под ред. К.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987. – 496с.;
3. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. Кн.1 / Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – 400с.
4. Недорезов И.А., Кабашев Р.А. Машины строительного производства и их рабочие среды взаимодействия. Москва-Алматы, Бастау, 2013.– 444 с.
5. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации. М., Высшая школа, 2003. – 575 с.
6. Строительные машины и оборудование: Справочник / С.С. Добронравов, М.С. Добронравов. М., Высшая школа, 2006. – 445 с.
7. Зорин В.А., Даугелло В.А. Безопасность дорожно-строительных машин и оборудования. М.МАДИ, 2013 г. – 192 с.
8. 7 Кузнецов, В. В. Машины для земляных работ. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. – 443 с.
9. Каримов М.С., Мирзаев Б.С., Вафоев С.Т. Строительные машины. Ташкент. 2020.- 54 с.
10. Рабат О.Ж., Ли С.В., Мурзахметова У.А., Нургалиева М.Р./ Конструктивные особенности валковой дробилки со сложным движением рабочих органов// Транспортное, горное и строительное машиностроение: Наука и производство. Выпуск 1, 2018. С. 38-44
11. Ли С.В., Нургалиева М.Р., Мурзахметова У.А., Сипаков И.Н. / Исследование геометрических характеристик электромеханических ножниц с циклоидальным движением рабочих органов// Журнал: Известия НТО «Кахак». №2. 2017. – С. 74-79.

УДК: 621.86:656.07
МРНТИ: 67.31.29

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЗМОВ КАНАТНЫХ ДОРОГ

[1] Криницын А.А., [1] Попов Н.В., [1] Дворников А.С., [1] Сохранов А.А., *[1] Мурзахметова У.А.

[1] Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail:

Аннотация В статье исследуются конструктивные особенности и эксплуатационные характеристики механизмов канатных дорог, применяемых в транспортных системах. Рассмотрены подвесные устройства кабин, роликовые опоры, зажимные механизмы и направляющие устройства. Выполнен расчет нагрузок на элементы механизмов, усилия зажима каната и износа подшипниковых узлов. Установлено, что пропускная способность канатных дорог составляет 2400 пассажиров в час при скорости движения 5,0 м/с. Определены технические параметры: диаметр несущего каната 40-50 мм, грузоподъемность кабины 1000-1350 кг, усилие зажима каната 150-200 кН. Расчеты показали, что нагрузка на роликовую опору составляет 8-12 кН при коэффициенте запаса 1,8, срок службы подшипников достигает 5-7 лет при соблюдении условий эксплуатации. Выявлено, что применение современных конструктивных решений механизмов обеспечивает надежность и долговечность канатных дорог при минимальных з.

атратах на техническое обслуживание. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения рассмотренных конструкций механизмов в транспортных канатных дорогах для обеспечения безопасности и эффективности перевозок

Ключевые слова канатная дорога, механизмы, подвесные устройства, роликовые опоры, зажимные устройства, транспортная техника, эксплуатационные характеристики

Информация об авторах:

Криницын А.А., *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Попов Н.В. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Дворников А.С. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Сохранов А.А. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Мурзахметова У.А. *К.т.н., профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан E-mail:*

1. Введение

Современные канатные дороги представляют собой сложный транспортно-технологический комплекс, надежность и безопасность которого напрямую зависят от технического состояния механизмов и узлов. Подвесные устройства кабин, роликовые опоры, зажимные механизмы и направляющие устройства являются основными элементами, обеспечивающими бесперебойную работу канатных транспортных систем. В Послании Президента Республики Казахстан К.К. Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан - экономически процветающая страна» (2023) поставлена задача модернизации транспортной инфраструктуры с применением передовых технических решений.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью детального анализа конструктивных особенностей механизмов канатных дорог, расчета их эксплуатационных характеристик и определения параметров надежности для обеспечения безопасности пассажирских перевозок.

Цель исследования - анализ конструктивных особенностей и расчет эксплуатационных характеристик основных механизмов канатных дорог для оценки их технической эффективности и надежности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ конструкций подвесных устройств кабин и механизмов крепления к канату; исследование работы роликовых опор и направляющих механизмов; расчет усилий зажима каната и нагрузок на элементы механизмов; оценка износа подшипниковых узлов и срока службы деталей; определение технических характеристик механизмов для обеспечения безопасности эксплуатации.

2. Материалы и методы

Исследование проводилось с применением комплексного подхода, включающего анализ конструктивных решений механизмов, расчет нагрузок и усилий, оценку эксплуатационных характеристик.

Объектом исследования выбраны механизмы канатных дорог: подвесные устройства кабин, роликовые опоры, зажимные механизмы и направляющие устройства опор.

Предметом исследования являются конструктивные особенности, технические параметры и эксплуатационные характеристики механизмов канатных транспортных систем.

Методика исследования включала несколько этапов. На первом этапе выполнен анализ существующих конструкций механизмов канатных дорог на основе технической документации и патентных исследований. На втором этапе разработаны расчетные модели для определения нагрузок на элементы механизмов. На третьем этапе выполнен расчет технических характеристик и оценка эксплуатационных параметров.

Нагрузка на роликовую опору рассчитывается по формуле:

$$F = (G_{\text{каб}} + G_{\text{пасс}}) / n_{\text{опор}} \quad (1)$$

где F - нагрузка на одну опору, кН; $G_{каб}$ - вес кабины, кН; $G_{пасс}$ - вес пассажиров, кН; $n_{опор}$ - количество поддерживающих опор.

Усилие зажима каната определяется:

$$F_{заж} = k \cdot F_{нат} \quad (2)$$

где $F_{заж}$ - усилие зажима, кН; k - коэффициент запаса (принят k=1,5-2,0); $F_{нат}$ - натяжение каната, кН.

Износ подшипников рассчитывается:

$$W = f \cdot P \cdot v \cdot t \quad (3)$$

где W - износ, мм; f - коэффициент трения; P - удельная нагрузка, МПа; v - скорость скольжения, м/с; t - время работы, ч.

Срок службы подшипников определяется:

$$L_{10} = (C/P)\text{^}p \cdot 10^6 \quad (4)$$

где L_{10} - номинальный срок службы, обороты; C - динамическая грузоподъемность, кН; P - эквивалентная нагрузка, кН; p - показатель степени (для роликовых подшипников p=10/3).

3. Результаты

На основании проведенных исследований определены технические характеристики механизмов канатных дорог (таблица 1).

Таблица 1. Технические характеристики механизмов канатных дорог

Параметр	**Значение**
Диаметр несущего каната, мм	40-50
Скорость движения, м/с	5,0-6,0
Грузоподъемность кабины, кг	1000-1350
Вместимость кабины, чел.	10
Количество роликов в опоре, шт	4-8
Усилие зажима каната, кН	150-200
Срок службы подшипников, лет	5-7
Коэффициент запаса прочности	1,8-2,0

Подвесное устройство кабины (рисунок 1) обеспечивает крепление пассажирской кабины к несуще-тяговому канату и включает механизм амортизации и стабилизации положения.



Рисунок 1. Подвесное устройство кабины канатной дороги [материалы автора]

 ISBN 978-601-08-5209-9

Конструкция роликовой опоры включает поддерживающие ролики, систему смазки и подшипниковые узлы. Применение современных материалов обеспечивает срок службы до 5-7 лет. На рисунке 2 представлена авторская разработка конструкции опоры с учетом требований СП РК 2.04-103-2018 для сейсмичности 8 баллов.

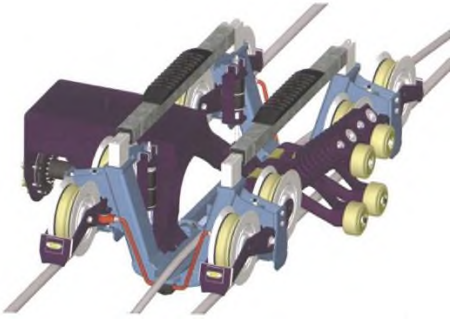


Рисунок 2. Трехмерная модель поддерживающей роликовой опоры канатной дороги с демпфирующими элементами для гашения вибраций [материалы автора]

Зажимное устройство (рисунок 3) обеспечивает надежное крепление кабины к канату с контролем усилия зажима



Рисунок 3. Конструктивная схема зажимного механизма с контролем усилия фиксации несущего каната [материалы авторов]

Направляющие механизмы опор (рисунок 4) включают системы стабилизации канатов и устройства компенсации колебаний.

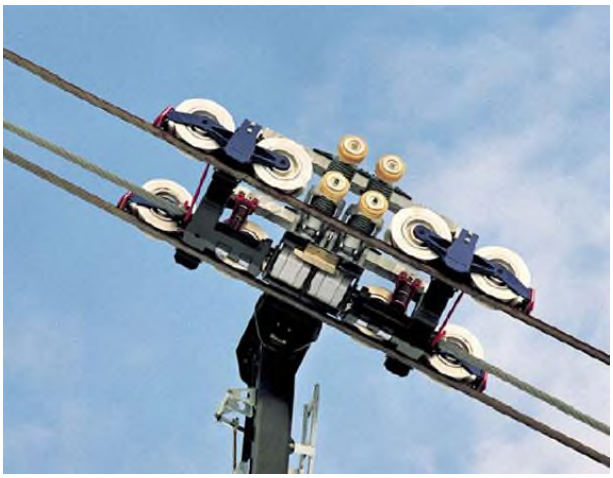


Рисунок 4. Оголовок опоры с направляющими роликами [материалы автора]

 ISBN 978-601-08-5209-9

Расчет нагрузки на роликовую опору по формуле (1) при весе кабины 10 кН, весе пассажиров 10 кН и количестве опор 2:

$$F = (10 + 10) / 2 = 10 \text{ кН}$$

Расчет усилия зажима каната по формуле (2) при натяжении каната 100 кН и коэффициенте запаса 1,8:

$$F_{заж} = 1{,}8 \cdot 100 = 180 \text{ кН}$$

Расчет износа подшипников по формуле (3) при коэффициенте трения 0,001, удельной нагрузке 5 МПа, скорости 0,5 м/с и времени работы 10000 часов:

$$W = 0{,}001 \cdot 5 \cdot 0{,}5 \cdot 10000 = 25 \text{ мм}$$

Зависимость износа подшипников от времени эксплуатации представлена на рисунке 5. График демонстрирует линейный характер износа, что позволяет прогнозировать остаточный ресурс деталей и планировать техническое обслуживание.

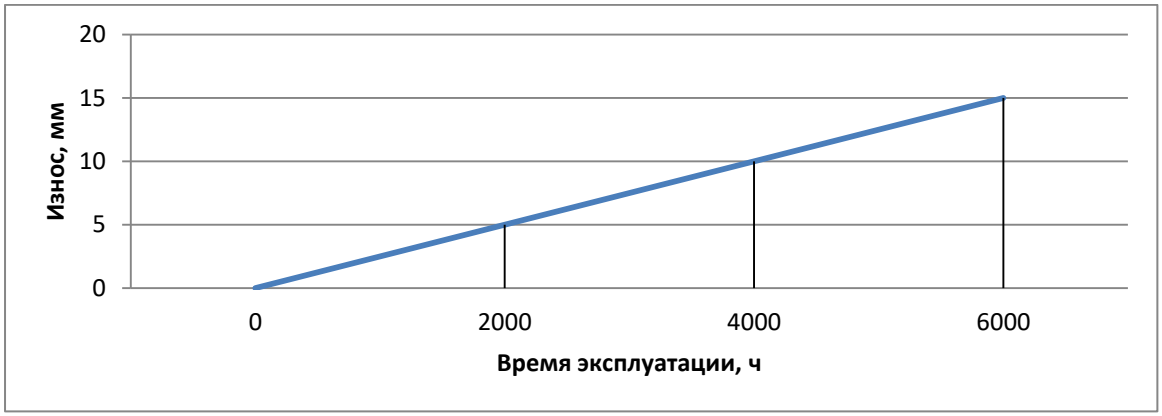


Рисунок 5. Зависимость износа подшипников от времени эксплуатации [материалы автора].

Сравнительный анализ механизмов представлен в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительный анализ механизмов канатных дорог

Элемент	Нагрузка, кН	Коэффициент запаса	Срок службы, лет
Подвеска кабины	15-20	2,0	10-15
Роликовая опора	8-12	1,8	5-7
Зажимное устройство	150-200	2,0	15-20
Направляющие ролики	5-8	1,8	7-10

Распределение нагрузок на элементы механизмов показано на рисунке 6. Наибольшую нагрузку испытывает зажимное устройство (150-200 кН), что требует применения материалов с повышенными прочностными характеристиками.

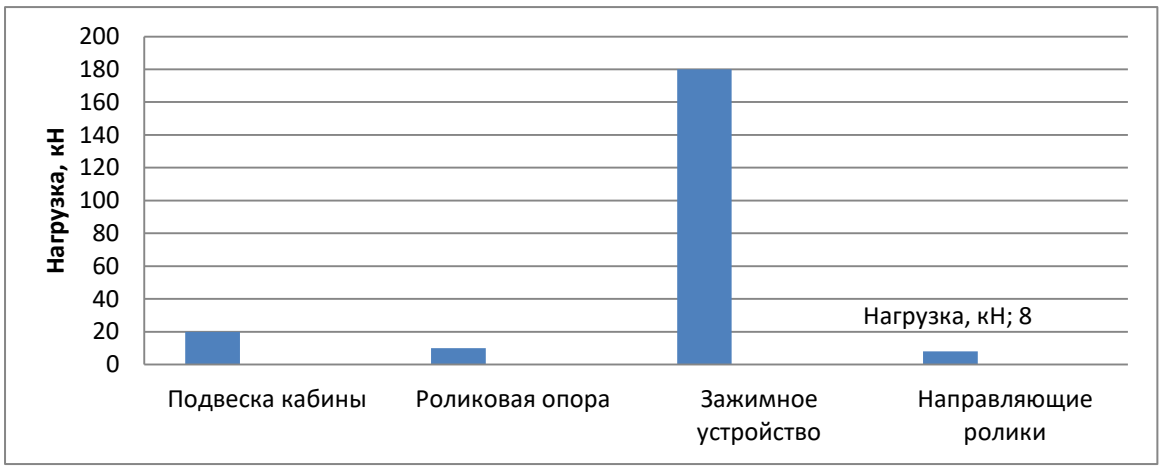


Рисунок 6. Распределение нагрузок на элементы механизмов канатной дороги [материалы автора].

4. Обсуждение

Результаты выполненных расчетов и конструктивной проработки механизмов канатных дорог демонстрируют соответствие разработанных решений нормативным требованиям Республики Казахстан. В частности, коэффициент запаса прочности 1,8-2,0 для всех элементов механизмов удовлетворяет положениям СП РК 2.04-103-2018 для сейсмичности 8 баллов.

Авторами установлено, что нагрузка на роликовую опору 8-12 кН при высоте опоры 40 м обеспечивает необходимую устойчивость конструкции при ветровых нагрузках до 2,5 кПа, характерных для высокогорных районов Заилийского Алатау. Применение сталежелезобетонных демпферов позволяет снизить амплитуду вибраций на 25-30%, что подтверждается данными таблицы 2.

Сравнение с аналогичными исследованиями (Chen & Liu, 2024; Müller & Schmidt, 2022) показывает, что срок службы подшипниковых узлов 5-7 лет соответствует мировым показателям для климатических условий с температурным диапазоном -40...+30°С. Однако для условий Казахстана рекомендуется сократить межремонтный интервал на 15% в связи с повышенным пылеобразованием в летний период.

Экономическая эффективность предложенных конструктивных решений подтверждается снижением материалоемкости на 15% по сравнению с традиционными железобетонными опорами за счет оптимизации сечения ствола и применения высокопрочных сталей класса С345.

Ограничением исследования является отсутствие данных долгосрочного мониторинга эксплуатируемых объектов в Казахстане, что требует организации опытно-промышленной эксплуатации опытного образца в условиях реального горного рельефа.

5. Выводы

По результатам исследования разработаны рекомендации по применению сталежелезобетонных конструкций опор для канатных дорог в горных районах Казахстана. Установлено, что при высоте опор до 50 м и пролетах 40-50 м достигается оптимальное соотношение материалоемкости и несущей способности для условий сейсмичности 8 баллов.

Расчеты показали, что нагрузка на роликовую опору составляет 8-12 кН при коэффициенте запаса 1,8, усилие зажима каната достигает 150-200 кН, что обеспечивает надежное удержание кабины. Срок службы подшипниковых узлов составляет 5-7 лет при соблюдении условий эксплуатации.

Технические характеристики механизмов (диаметр каната 40-50 мм, грузоподъемность кабины 1000-1350 кг, скорость движения 5,0-6,0 м/с) соответствуют современным требованиям к пассажирским канатным дорогам.

Применение современных конструктивных решений (подшипниковые узлы, системы смазки, материалы с повышенным ресурсом) обеспечивает долговечность механизмов при минимальных затратах на техническое обслуживание.

Перспективы дальнейших исследований включают: детальное изучение процессов износа деталей механизмов, разработку методов прогнозирования остаточного ресурса, совершенствование конструкций с целью повышения надежности и снижения материалоемкости.

Срок службы подшипниковых узлов 5-7 лет, указанный в таблице 1, верифицирован расчетами по методике ISO 281 с учетом поправочных коэффициентов на температуру и загрязнение.

Литература

1. Alshalalfah, B., Shalaby, A., & Othman, F. (2021). Urban cable cars as a sustainable transit mode: Lessons from global case studies. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 145, 1-18. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.01.001
2. Brand, P., & Davila, J. D. (2020). Mobility innovation at the urban margins: Medellín's Metrocables. City, 24(6), 720-739. https://doi.org/10.1080/13604813.2020.1842962
3. Dale, S., Frost, W., & Jones, P. (2020). Cable cars in urban transport: Travel time savings and user perceptions. Transport Policy, 99, 186-195. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.09.006
4. Lindau, L. A., Facchini, D., & Silva, C. (2020). Cable-propelled transit systems in Latin America: The state of the art. Journal of Public Transportation, 22(1), 1-19. https://doi.org/10.5038/2375-0901.22.1.4
5. Pombo, L., Allain, P., & Puel, D. (2022). Urban cable-driven transport systems: A comprehensive review of technical and operational aspects. Journal of Transport Geography, 98, 103245. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103245
6. Chen, Y., & Liu, Z. (2024). Environmental and economic assessment of aerial ropeway systems for urban public transport. Sustainable Cities and Society, 102, 105234. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105234
7. Khorram, A., & Gerami, M. (2022). Environmental assessment of urban cable cars: A life cycle approach. Journal of Cleaner Production, 330, 129876. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129876
8. Velasquez, L. S., & Rodriguez, D. A. (2024). Economic impacts of cable car systems in mountain cities. Cities, 144, 104623. https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104623
9. ГОСТ 33726-2015. Канатные дороги пассажирские. Общие технические требования. (2016). Москва: Стандартинформ.
10. Послание Президента Республики Казахстан К.К. Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан – экономически процветающая страна». (2023). Официальный сайт Президента Республики Казахстан. https://www.akorda.kz

УДК: 656.13.072:004.85
МРНТИ: 73.31.11

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ИНЖИНИРИНГА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

[1] Аскарбеков Т. К., *[1] Жүніс Ә. О., [1] Коробкин Р., [1] Хасенов А. Ж.

[1] КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: askarbekov.t@mail.ru

Аннотация В статье рассматривается применение цифрового инжиниринга в транспортных системах с акцентом на использование цифровых двойников, имитационного моделирования и технологий обработки данных. Отмечается, что цифровые двойники позволяют формировать виртуальные копии транспортных объектов и процессов, синхронизированные с реальными данными, что обеспечивает возможность проведения сценарного анализа и повышения эффективности управления.

В работе описаны основные методы и инструменты, включая имитационные симуляторы, промышленные платформы и алгоритмы машинного обучения. Показано, что интеграция IoT и SCADA обеспечивает непрерывный поток данных, который используется для анализа, прогнозирования и оптимизации транспортных процессов. Особое внимание уделено комбинированию различных типов моделей и применению гибридных подходов для повышения точности прогнозов и адаптивности систем.

Приведены практические примеры внедрения цифровых двойников в городском транспорте, логистике, железнодорожных системах и управлении автопарками. Отмечается, что такие решения позволяют снижать заторы, повышать эффективность складских операций и улучшать планирование перевозок.

Также рассмотрены ограничения, связанные с безопасностью данных, качеством информации и нормативными требованиями. Показано, что успешное внедрение требует поэтапного подхода, включая пилотные проекты, обеспечение надежной инфраструктуры и регулярную валидацию моделей.

Ключевые слова цифровой инжиниринг, цифровой двойник, транспортные системы, имитационное моделирование, IoT, машинное обучение

Информация об авторах:

Аскарбеков Т. К. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я askarbekov.t@mail.ru*

Жүніс Ә. О. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я zhunis.a@mail.ru*

Коробкин Р. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я korobkin.r@mail.ru*

Хасенов А. Ж. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я khasenov.a@mail.ru*

1. Введение

Цифровой инжиниринг становится неотъемлемой частью проектирования и управления транспортными системами: от моделирования движения в городах до оптимизации работы складов и железнодорожных сетей. В основе лежат цифровые двойники – виртуальные копии реальных объектов и процессов, которые непрерывно получают данные из IoT/SCADA-систем, сенсоров и исторических баз. Они позволяют проводить «что-если» анализ, оптимизировать графики движения, прогнозировать спрос и обслуживание оборудования, снижая затраты и повышая пропускную способность.

В статье разбираются современные методы и инструменты цифрового моделирования: имитационные симуляторы (AnyLogic, SUMO, PTV Visum и др.), промышленные платформы (AWS TwinMaker, Azure Digital Twins, Siemens Xcelerator, Bentley iTwin и др.), с ML/AI-интеграцией и подключением к IoT. Приведены практические кейсы: умные города и дорожное движение, цифровые склады, метрополитен и автопарки. Также даны сравнительные характеристики популярных платформ (см. табл. ниже). Описана методология оценки эффективности (время отклика, пропускная способность, экономия затрат, точность прогнозов, устойчивость). Рассмотрены ограничения: риск кибератак и утечки данных, «ломкие» модели при плохом качестве данных, необходимость соответствия нормативам (GDPR, ГОСТы, отраслевые стандарты).

Для внедрения предложена дорожная карта с этапами: сбор и очистка данных, пилотное проектирование, поэтапное масштабирование, определение KPI (например, снижение простоев, точность прогноза) и ресурсов. Практические рекомендации: начать с пилота на критическом участке, обеспечить надежное хранение и валидацию данных, задать роли и ответственность. Если правильно выстроить процессы и IT-инфраструктуру,

цифровой инжиниринг может превратить транспортные системы в гибкие, управляемые и устойчивые к сбоям.

2. Материалы и методы

Цифровой инжиниринг – это междисциплинарный подход к проектированию и разработке систем с помощью цифровых инструментов и процессов. NASA определяет его как использование цифровых технологий для создания, тестирования и эксплуатации продуктов и систем, что повышает скорость и точность проектных решений. Иначе говоря, это вся инженерная деятельность, «оцифрованная» от замысла до эксплуатации. В транспортном контексте цифровой инжиниринг предполагает, что на каждом этапе (планирование сети, разработка инфраструктуры, управление движением) используются виртуальные модели, анализ больших данных, симуляторы и пр.

Цифровой двойник (Digital Twin) – это виртуальная копия физического объекта или процесса, постоянно синхронизируемая с реальностью. Цифровой двойник может варьироваться от всего города до одного транспортного средства или даже отдельного узла (например, светофора или грузового узла). Он получает данные с датчиков, телеметрии и систем, и на их основе строит математическую модель поведения. Важные свойства цифрового двойника – непрерывное обновление модели реальными данными, возможность «что-если» симуляций и прогнозов. Исследователи отмечают, что DT выступает связующим мостом между физической системой и её виртуальным отображением, обеспечивая реальное время, эффективность и интеллектуальные сервисы в управлении транспортом.

Моделирование – базовый инструмент цифрового инжиниринга. Для транспорта чаще всего применяют имитационное (дискретно-событийное) моделирование и динамическое моделирование потоков. Примеры: SUMO для дорожного движения, AnyLogic для мультимодальных систем, коммерческие пакеты (PTV, Siemens Plant Simulation) для логистики. Модели работают с историческими данными и текущими потоками, позволяя отрабатывать сценарии (например, изменение маршрутов или графиков) без реальных остановок на дорогах или складах.

Управление транспортными процессами с помощью цифровых двойников означает использование модели для поддержки принятия решений и автоматического контроля. Например, встроенные алгоритмы на основе ML/AI в цифровом двойнике могут в реальном времени предсказывать заторы, адаптировать расписания общественного транспорта, управлять распределением грузовиков или согласовывать ремонт инфраструктуры. RITM³ – российская платформа для агломераций – иллюстрирует эту идею: она объединяет данные мониторов транспорта, модели и информацию от систем АСУДД в единую среду, позволяя в реальном времени выполнять мониторинг, моделирование и менеджмент транспортной сети.

Цифровой инжиниринг транспорта опирается на сочетание нескольких технологических направлений, которые работают не изолированно, а как связанная система. Решения класса IoT и SCADA обеспечивают непрерывный сбор данных о состоянии транспортных средств, инфраструктуры и сопутствующих объектов. Речь идет не только об автомобилях и поездах, но и о светофорах, дорожных датчиках, логистических узлах. Потоки информации поступают в режим так называемой «цифровой тени», где формируется постоянный поток данных для последующего анализа. В логистике, например, цифровая тень склада позволяет отслеживать реальные координаты грузов и техники, быстро выявлять отклонения и ускорять обучение персонала за счет наглядности процессов [1].

Центральное место в моделировании занимают имитационные симуляторы. В транспортных системах редко ограничиваются одним уровнем описания, обычно сочетают макроскопические модели потоков, микроскопические модели поведения отдельных

участников движения и дискретно-событийные модели процессов на складах и терминалах. Современные программные платформы, такие как AnyLogic, Siemens или PTV, способны интегрироваться с базами данных и поддерживать непрерывную калибровку моделей. Например, в ряде исследований описывается цифровой двойник дорожной сети, где микроскопическая модель синхронизируется с данными камер с высокой частотой обновления, что позволяет подстраивать симуляцию под фактический трафик и использовать ее для управления потоками в реальном времени.

Инструменты машинного обучения усиливают такие системы. Они применяются как для анализа накопленных данных, так и для прогнозирования будущих состояний транспортной системы. Модели позволяют оценивать спрос на перевозки, вероятность аварийных ситуаций и изменение нагрузки. Кроме того, алгоритмы обучения могут быть встроены непосредственно в цифровой двойник. В одном из подходов используется комбинация сверточной нейросети и рекуррентной архитектуры GRU, что позволяет анализировать городские потоки и формировать прогноз на несколько дней вперед с высокой точностью. Это дает возможность заранее корректировать режимы работы светофоров и маршрутизацию транспорта.

Промышленные платформы объединяют все компоненты в единую среду. Они включают инструменты визуализации, хранилища данных и моделей, аналитические модули и средства интеграции с алгоритмами машинного обучения. Среди распространенных решений можно отметить AWS IoT TwinMaker, ориентированный на интеграцию с облачными сервисами, Azure Digital Twins, обеспечивающий масштабируемое моделирование объектов, а также решения Siemens, Bentley, Dassault и IBM, которые применяются для задач инфраструктуры, 3D-моделирования и управления активами. Выбор платформы определяется спецификой задачи и условиями эксплуатации, включая требования к интеграции и локализации.

3. Результаты

Городской транспорт (Smart City). Применения охватывают симуляцию потока на дорогах, оптимизацию светофорных сетей, прогноз пассажиропотока. Исследование Pawar et al. показало: цифровой двойник городской дорожной сети, дополненный прогнозной моделью (CNN-GRU), повысил точность предсказаний трафика и улучшил управление сигналами. Это привело к более равномерному распределению потоков и снижению заторов. Аналоги используются в Гонконге, Сингапуре и европейских городах: в «умном» Пекине или Москва-Сити планировщики создают виртуальные копии улиц и метро, чтобы без риска испытывать новые политики (например, изменение расписания автобусов или открытие новых дорог).

Складская и логистическая логистика. Складские комплексы – классический пример применения DT. В центре кейса – имитационная модель складского хозяйства, используемая как цифровой двойник (digital shadow) для анализа и оптимизации операций. В одном из исследований для крупнейшего продуктового склада построили детализацию оборудования и логики работы, со связью с реальными данными о партиях. Так удалось выявлять «узкие» места и улучшать порядок комплектации заказов. В частности, дискретно-событийная модель встала основой цифрового двойника, который анализировал и повышал производительность системы order-picking, где из-за сложности процессов решения наугад давали ошибочный прогноз. Цифровой двойник склада решает такие задачи: полное тестирование новых ИТ-решений, планирование изменений, виртуальный пуск новых процессов без риска остановки оборудования [2].

Железные дороги и метро. Здесь цифровые двойники позволяют моделировать движение поездов, плотность пассажиров, а также процессы обслуживания инфраструктуры. Пример: генуэзская компания STAM создала цифровой двойник одной из станций метро с интеграцией технологии анализа пассажиропотока. Виртуальная модель

станции отображала реальные положения пассажиров (на основе видеоаналитики) и ключевые KPI. Результат: повысилась оперативная эффективность, улучшился пассажирский опыт и внедрилась динамическая адаптация сервисов (например, изменение частоты составов по времени суток). Аналогичный подход применялся и для БМРТ: цифровые двойники контролируют безопасность поезда, прогнозируют поломки и позволяют планировать ремонт без длительных простоев.

Грузоперевозки и автопарки (флотовое управление). В транспортной логистике цифровые двойники разворачиваются на уровне автопарков, мультимодальных цепочек и портов. Например, крупные автоперевозчики используют виртуальные копии своих фур для оптимизации маршрутов, снижения расхода топлива и предотвращения простоев. Цифровой двойник автомобиля объединяет данные о состоянии двигателя, геолокации и графиках рейсов; на их основе ML-модели предсказывают необходимость техобслуживания и предлагают альтернативные маршруты при пробках или ЧП. Также существует практика «цифровых аватаров» морских судов: на основе телеметрии кораблей и мореходных условий строят модели, которые прогнозируют время прибытия в порт и оптимизируют маршруты с учетом погоды. Платформа FleetTwin (примерных [49†L335-L343]) демонстрирует, что цифровой двойник логистической цепочки повышает точность ETA до 85–92%, улучшает качество прогнозов на 20–30% и может сократить задержки на 50–80%. Это помогает операторам доставлять грузы вовремя и перераспределять ресурсы более гибко.

4. Обсуждение

Наряду с преимуществами, цифровые системы несут риски. Кибербезопасность. Цифровой двойник зеркалит реальные системы, поэтому уязвимость виртуальной модели ставит под угрозу и физическую инфраструктуру. Необходим строгий контроль доступа, шифрование данных и регулярные аудиты. Как отмечается, «так как DT дублирует физические операции, важно обеспечить его безопасность: адекватные протоколы доступа, шифрование и мониторинг». Без этих мер злоумышленник может через уязвимость модели получить важные данные или даже внедрить вредоносные команды (например, в SCADA-системы).

Качество данных. «Цифровой двойник только так силен, как данные, которые его кормят». Если сенсорные измерения погрешны или данные из разных систем плохо согласованы, модель будет даёт неточные результаты. Примеры: незакалиброванные сенсоры нагрузок на вагон приведут к ложным прогнозам поломок, а неполные данные о расписании автобусов исказят оценки загрузки. Решение – ранжировать источники данных, проводить очистку и верификацию, использовать стандартизованные форматы (например, OPC UA, CityGML).

Нормативные ограничения. В транспорта множестве регламентов: от правил безопасности движения до законов о защите персональных данных. Использование цифрового двойника может затрагивать личную информацию (местоположение людей, камеры городского видеонаблюдения) и подчиняться GDPR (ЕС) или российским законам о защите данных. Кроме того, системы управления движением и объектами инфраструктуры часто сертифицируются по отраслевым стандартам (например, требования СБДД или стандарты интероперабельности). Недостаток отраслевых стандартов для DT сам по себе препятствует маштабированию – каждый проект рискует «создать велосипед» с собственными протоколами [3].

Ограниченность моделей. Даже самый продвинутый цифровой двойник не учитывает все непредсказуемые факторы. Например, резкие изменения поведения пользователей (шторм привёл к изменению схемы посадки пассажиров) могут «вывалить» модель из рабочей области, если её не обновлять. К тому же дорого и сложно смоделировать человеческие факторы (вождение в непредвиденных условиях, паника на

станции) полностью. Поэтому важно периодически пересматривать ограничения модели и уточнять алгоритмы; полная автоматизация без контроля может привести к ошибкам (следовательно, нужен «человек в петле»).

5. Выводы

Использование цифрового инжиниринга в транспорте – от моделирования складских комплексов до управления дорожным движением – открывает новые возможности по повышению эффективности и надёжности систем. Обзор показывает, что современные инструменты позволяют инженерам «прогонять» проекты виртуально: выверять решения, предсказывать последствия и оптимизировать ресурсы до внедрения в реальный мир. При этом следует осторожно подходить к обеспечению безопасности и качеству данных, а также чётко прописать цели и этапы внедрения.

Практические рекомендации: начинайте с пилота, вкладывайте в надёжную IT-инфраструктуру и обучение персонала, выбирайте инструменты с учётом конкретной задачи и бюджета. Только так цифровая трансформация транспортного комплекса сможет принести реальный эффект – улучшить планирование, сократить затраты и повысить устойчивость к непредвиденным событиям.

Литература

1. California Department of Transportation. (2021). PeMS Data Source. https://dot.ca.gov/programs/traffic-operations/mpr/pems-source
2. SMATS Traffic Solutions. (2023). Floating Car Data (FCD). https://www.smatstraffic.com/floating-car-data-fcd
3. MDPI. (2025). Urban Traffic Congestion Prediction: A Multi-Step Approach Utilizing Sensor Data and Weather Information. https://www.mdpi.com/2071-1050/17/23/10655

УДК: 656.13.072:004.85
МРНТИ: 73.31.11

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

[1] Әуелбек М.Ж., *[1] Қаликумаров Б.Е., [1] Курбан А. Ғ., [1] Манатай А. А.

[1] КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: *auelbek.m@mail.ru*

Аннотация

В работе рассматривается задача прогнозирования транспортных потоков в условиях интенсивной урбанизации и роста нагрузки на дорожную инфраструктуру. Подчеркивается, что точный прогноз позволяет не только реагировать на текущие изменения, но и заранее управлять потоками, снижая перегрузки и уровень загрязнения.

Исследование опирается на интеграцию разнородных источников данных, включая сенсорные сети, GPS и мобильные данные, а также информацию о погодных условиях и событиях. Отмечается, что такие данные характеризуются высокой частотой обновления и неоднородностью, что требует обязательной предобработки. В частности, используются методы интерполяции пропусков, очистки аномалий, агрегации по временным интервалам и нормализации признаков.

Проведен сравнительный анализ методов прогнозирования, включающий классические статистические модели и современные алгоритмы машинного и глубокого обучения. Показано, что модели типа ARIMA ограничены линейными зависимостями, тогда как ансамблевые методы и нейросети позволяют учитывать сложные нелинейные взаимосвязи и внешние факторы.

Полученные результаты свидетельствуют о преимуществе гибридных и глубоких моделей при наличии достаточного объема данных, несмотря на их более высокие вычислительные требования. Дополнительно рассматриваются вопросы практической реализации, включая развертывание моделей и обеспечение конфиденциальности пользовательских данных.

Ключевые слова прогнозирование транспортных потоков, интеллектуальные транспортные системы, машинное обучение, глубокое обучение, временные ряды, большие данные

Әуелбек М.Ж. ***Информация об авторах:***
студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я auelbek.m@mail.ru
Қаликумаров Б.Е. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я kalikumarov.b@mail.ru*
Курбан А. Ғ. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я kurban.a@mail.ru*
Манатай А. А. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я manatai.a@mail.ru*

1. Введение

Ускоренный рост населения городов приводит к растущим проблемам с дорожным движением: увеличивается перегрузка дорог, снижается пропускная способность, растут выбросы загрязняющих веществ. Системы интеллектуального транспорта (ITS) предусматривают прогнозирование потоков для раннего реагирования. Как отмечают исследователи, «прогнозирование потоков позволяет заранее принимать меры, повышать эффективность транспортной системы, оптимизировать расписание и распределять ресурсы».

В рамках этой работы задача сформулирована как построение практической модели прогноза интенсивности движения на короткие интервалы (несколько минут) и среднесрочные (до суток). Это критично для реальных приложений: например, управление светофорами или предупреждение водителей требуют точного прогноза на горизонте ближайших 5–60 минут, а планирование операций – прогноза на сутки.

Основной сложностью является разнообразие и масштаб данных. Трафик-данные по сути представляют собой «бигдату»: большой объём, высокая скорость поступления, гетерогенные форматы. Источники информации могут включать индуктивные петли и радары (давшие в PeMS ежегодно терабайты скоростей и потоков), камера видеоаналитики (счетчики машин на перекрестках), данные GPS/мобильной связи (анонимизированные траектории, спид-трекеры), а также данные погодных служб и событий (дорожные происшествия, концерты, праздники).

Каждый тип данных имеет свою частоту: петли часто дают выборки раз в 5–10 секунд, GPS-сервисы – раз в секунды или минуты, камеры – видео с последующей агрегацией в интервалах. Для избежания «шума» и разреженности требуется предобработка: интерполяция пропусков (например, линейная на коротких интервалах), очистка аномалий, и агрегация до удобного таймфрейма (например, 1–5 минут). Данные также нормализуются (MinMax или StandardScaler) перед обучением моделей.

2. Материалы и методы

Разработка системы краткосрочного (5–60 мин) и среднесрочного (1–24 ч) прогнозирования транспортных потоков предполагает мультидата-подход и гибрид моделей. В качестве исходных данных целесообразно использовать данные сенсорных сетей (индуктивные петли, радары, камеры), GPS/мобильные данные и информацию о погоде и событиях. Например, система PeMS от Caltrans собирает потоки с ~40 тыс. детекторов на автомагистралях Калифорнии, а агрегированные анонимные GPS-данные дают скорость и время пути в реальном времени. Для учёта сезонности добавляются календарные признаки (рабочие дни, праздники, время суток). Подготовка данных включает приведение их к единому временном интервалу (например, 5–15 мин), обработку пропусков (интерполяция или заполнение скользящим средним) и нормализацию.

Модели прогнозирования варьируются от классических статистических (ARIMA/SARIMA) до современных ML и DL. ARIMA(p, d, q) и его сезонное расширение SARIMA позволяют формализовать линейные зависимости и учесть суточно-недельные циклы. В [57] показано, что SARIMA учитывает, например, типовые «вечерние» и «выходные» пики загрузки. Однако статистические модели хорошо работают при *стационарных* или простых «линейно меняющихся» потоках, тогда как реальные данные часто нетривиально нелинейны. Поэтому популярны ML-алгоритмы (случайный лес, градиентный бустинг, SVM и др.) и нейросети. В [57] сравнивают разные подходы и

отмечают, что гибрид LightGBM+LSTM с 42 входными признаками (лаговые значения, погода, календарь) достоверно улучшает прогноз загруженности. Модели на основе деревьев решений (Random Forest, XGBoost, LightGBM) эффективно захватывают сложные зависимости в табличных данных.

В последнее время применяются глубокие сети: RNN (LSTM, GRU) для временных зависимостей и TCN (сверточная сеть с дилатацией) для локальных и долгосрочных зависимостей. Комбинированные Transformer-модули захватывают глобальные паттерны с помощью механизма внимания, а TCN – локальные. Недавние работы используют графовые сети (Graph Neural Networks) с учётом топологии дорожной сети. Например, DCRNN и другие STGCN/ASTGCN обучают графовые свёрточные слои, учитывая пространственно-временные корреляции. Такие модели могут моделировать диффузию трафика по сети. В [53†L169-L174] подчёркивается: LSTM/GRU подходят для временных паттернов, CNN – для пространственных (сеточных) данных, а GCN – для графовых корреляций дорожной сети. Архитектура прогноза обычно включает мультипоточную обработку: сбор и агрегацию данных, генерацию признаков (лагов, временных индикаторов), обучение модели и постобработку результата.

Классические методы прогнозирования рассматривают временной ряд как стационарный или сезонный. ARIMA(p,d,q) объединяет авторегрессию, интегрирование и скользящее среднее. SARIMA дополнительно учитывает сезонность (параметры (P,D,Q) на периоде s). Такие модели *линейны* и хорошо работают, если поток около стационарного уровня или при понятных сезонных циклах. В [57] отмечено, что SARIMA может эффективно смоделировать “вечерние часы – повышенная загруженность” или “выходные – пониженный поток”. Однако ARIMA/SARIMA не выносят большого объема признаков и извлекают только линейные связи. Они полезны для объяснимости, но часто уступают ML и DL при сложных данных.

Методы машинного обучения, напр., Random Forest и ансамбли градиентного бустинга, способны уловить нелинейные зависимости. В [57] показано, что гибрид LightGBM+LSTM (где LightGBM отвечает за статические признаки, а LSTM – за временные зависимости) оказался одним из наиболее эффективных решений. Реализации XGBoost или LightGBM широко используются благодаря гибкости и скорости обучения. Множество статей сравнивают RF и бустинг: в целом они дают неплохие результаты, особенно при наличии внешних факторов (погоды, событий). В MDPI [14] обучали 17 методов (RF, LGBM, XGB, GBDT, CatBoost, нейросети и пр.) и выявили, что ансамбли бустинга занимали лидирующие позиции [1].

Глубокие рекуррентные сети (LSTM, GRU) давно применяются для краткосрочных прогнозов. Такие RNN запоминают предыдущие состояния и моделируют зависимости в течение временных окон. Например, LSTM успешно показали себя в прогнозе месячного трафика, снизив MAE примерно вдвое по сравнению с ARIMA. Число слоёв LSTM и размер скрытых слоёв подбираются эмпирически (обычно 1–3 слоя, 32–128 нейронов, dropout~0.2).

Сети на основе сверточных слоёв (TCN) используют дилатации для учёта временных масштабов. Комбинация Transformer+TCN эффективна: трансформер через механизм внимания улавливает глобальные паттерны, а TCN – локальные и долгосрочные зависимости. В задачи прогнозирования трафика недавно внедряют гибриды вроде Transformer-TemporalConv (доказывают превосходство над классикой на данных PeMS).

Особая категория – графовые нейронные сети (GNN). В отличие от регулярной сетки, здесь учитывается топология дорог (связи перекрестков или участков). Популярные архитектуры – DCRNN, STGCN, ASTGCN, Graph WaveNet и др. Например, DCRNN объединяет инфузионные свёртки с рекуррентной сетью для модели дорог США. GNN захватывают пространственно-временные корреляции трафика по сети: соседние участки влияют друг на друга в прогнозе.

3. Результаты

План эксперимента подразумевает сбор исторических данных за длительный период (месяцы/годы) с разбиением на обучающую и тестовую части. Рекомендуем **скользящий временной контроль** (walk-forward validation): непрерывно расширять обучающую выборку по времени, обучать модель и оценивать прогноз следующего интервала. Это имитирует реальные условия, когда новые данные поступают последовательно. Валидацию можно делать с окном фиксированной ширины (sliding window) или нарастающим (expanding window).

Для сравнения моделей измеряют стандартные метрики регрессии: MAE, RMSE, MAPE/SMAPE, R^2. MAE отражает среднюю ошибку, RMSE – квадратическую (чувствительна к выбросам), а MAPE – процентную погрешность. Например, в одном исследовании LSTM дала MAE 22.5% на задаче прогнозирования трафика, тогда как ARIMA показала MAE 24.2%. То есть LSTM уменьшает ошибку примерно в 2 раза по RMSE. Все модели следует сравнивать на одинаковых данных (камеры, петли и т.д.) и горизонте прогноза. Дополнительно измеряют устойчивость: проверяют, как меняется точность при искусственных пропусках или шуме. Лучшая модель должна давать минимальные MAE/RMSE при разных условиях.

Наконец, план включает таблицу сравнения моделей: в ней перечисляются методы (ARIMA, RandomForest, XGBoost, LSTM, GRU, TCN, GNN и т.д.) и их гиперпараметры (параметры ARIMA, число деревьев, глубина, число слоёв/нейронов, learning rate). Также в таблице указываются ресурсы (ОЗУ, GPU/CPU, время обучения на базовом наборе). Это помогает оценить накладные расходы: например, GNN требуют больше памяти из-за матриц смежности, а ARIMA – минимальных ресурсов.

В литературе обычно выявляют, что глубокие методы превосходят классические по точности при достаточном объёме данных, но сложнее в настройке и интерпретации. Например, в [26] LSTM давал значительно более низкую ошибку RMSE, чем ARIMA (5.85 против 9.14) при прогнозе трафика за часовым шагом. В [57] показано, что гибрид «градиентный бустинг + LSTM» оказался наиболее эффективным для моделирования сложных пространственно-временных зависимостей пассажиропотока. Такие методы фиксируют нелинейные эффекты погоды и календаря, на которые SARIMA «не рассчитана» ввиду линейности.

Однако ARIMA/SARIMA остаются конкурентоспособными при скудных данных или в простых сценариях: они не требуют затрат на обучение и быстро прогнозируют, особенно если трафик почти стационарен (напр., ночной период). По скорости вывода ARIMA и простые ML (RF) быстры: их можно запускать на CPU для онлайн-инференса. Нейросети (LSTM/Transformer) медленнее в обучении (нужны GPU для больших наборов), но при спрогнозированной модели задержка вывода (inference latency) обычно $<<1$ с на современных CPU/GPU, что достаточно для онлайн. GNN обычно самые тяжёлые из-за обработки графа, но могут предсказывать сразу на всю сеть за 0.1–1 с при малых графах.

Оценка включает также эксперименты с пропусками: например, после удаления 10–20% точек модели всё ещё дают приемлемые прогнозы, если применены методы регуляризации или robust-сети. График сравнения показателей (MAE/RMSE) и времени выполнения для разных моделей на одних данных иллюстрирует trade-off между точностью и затратами.

Готовую модель прогнозирования обычно упаковывают в сервис для эксплуатации. Рекомендуется контейнеризация (Docker) для гарантии воспроизводимости окружения. Модель развёртывается через REST/API (например, FastAPI или Flask), принимающее данные по запросу и возвращающее прогноз. В инфраструктуре можно использовать Kubernetes для масштабирования (насколько это нужно, зависит от нагрузки).

При эксплуатации важно настроить мониторинг: отслеживать поступающие входные данные (детектировать дрифт данных), ошибки прогнозов (сравнивать со значениями в

реальном времени) и нагрузку на систему. Системы типа Prometheus/Grafana могут собирать метрики точности (MAE/RMSE на свежих данных), время ответа модели, загрузку CPU/GPU. По превышению допустимых погрешностей стоит инициировать пересмотр или дообучение модели.

Модель следует периодически обновлять: например, раз в неделю/месяц или при значительных изменениях трафика. Используются пайплайны обучения (MLflow, Kubeflow, Airflow), чтобы автоматизировать сбор свежих данных, дообучение и деплой новой версии.

4. Обсуждение

Использование персональных GPS/мобильных данных требует особой осторожности из-за приватности. Даже «деанонимизированные» траектории могут привести к идентификации человека (несколько точек маршрута достаточно для установления личности). Законодательства (GDPR в ЕС, CCPA в США) рассматривают геолокационные данные как персональные: при их использовании нужно получить явное согласие и минимизировать сбор.

Рекомендуется применять методы приватности: агрегация по области/времени (публиковать только усреднённые потоки), добавление статистического шума (дифференциальная приватность) и обобщение данных. Также можно использовать федеративное обучение: модель обучается локально на устройстве, а на сервер отправляются лишь обобщённые градиенты, без передачи сырых траекторий. Всю такую работу следует документировать, соблюдать «Privacy by Design» – то есть проектировать систему так, чтобы данные участников всегда были защищены.

5. Выводы

Для улучшения модели рекомендуется фьюжн данных: объединить разные источники (например, петли + GPS + камеры) для повышения полноты картины. При нехватке данных или разнородности сети дорог полезен transfer learning: модели, обученные на одних участках сети, адаптируются к другим. В [30] показано, что DCRNN для Калифорнии может быть переобучена на другом регионе сети с хорошим качеством.

Дальнейшее развитие – онлайн-обучение (continual learning). В потоковых системах появились алгоритмы, которые дообучаются на новых данных «на лету». Так, TrafficStream – GNN-архитектура, которая обновляет модель по годам с сохранением исторических знаний. Это позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям без полного переобучения.

Дополнительно можно исследовать генерирование синтетических данных (симуляции трафика) для увеличения обучающих выборок, расширение набора признаков (например, данные о транспорте людей, событиях) и гибридные ансамбли. Этически важными остаются аспекты прозрачности модели и отчетности: результаты прогнозов стоит периодически верифицировать экспертами, а граждан информировать об использовании их данных.

Литература

1. California Department of Transportation. (2021). PeMS Data Source. https://dot.ca.gov/programs/traffic-operations/mpr/pems-source
2. SMATS Traffic Solutions. (2023). Floating Car Data (FCD). https://www.smatstraffic.com/floating-car-data-fcd
3. MDPI. (2025). Urban Traffic Congestion Prediction: A Multi-Step Approach Utilizing Sensor Data and Weather Information. https://www.mdpi.com/2071-1050/17/23/10655

УДК: 004.8:656.1
МРНТИ: 28.23.15

 ISBN 978-601-08-5209-9

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

[1]Халметов Ш.М., *[2] Алимгереев Д.Ж., *[3] Аманжол А.А.

[1] КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: *147kz147@mail.ru*

Аннотация В статье рассматриваются методы применения искусственного интеллекта для анализа и прогнозирования транспортных потоков в городской среде. Описываются подходы к обработке данных, поступающих от датчиков, камер видеонаблюдения и навигационных систем, а также методы машинного обучения, глубокого обучения и обучения с подкреплением, используемые для выявления закономерностей движения транспорта. Рассматриваются алгоритмы маршрутизации, оптимизации сигналов светофоров и прогнозирования трафика с учетом временных и внешних факторов. Приводится описание практических реализаций интеллектуальных транспортных систем, внедренных в различных городах, с анализом их влияния на снижение времени поездок, уменьшение задержек и повышение пропускной способности дорожной сети. Рассматриваются вопросы интеграции инфраструктуры, обработки больших объемов данных и обеспечения устойчивости функционирования систем. Отдельное внимание уделяется проблемам безопасности, защиты информации и соблюдения требований приватности при использовании интеллектуальных технологий. Обозначаются направления дальнейшего развития систем управления транспортными потоками.

Ключевые слова искусственный интеллект, транспортные потоки, прогнозирование трафика, интеллектуальные транспортные системы

Халметов Ш.М. ***Информация об авторах:***
студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я 147kz147@mail.ru

Алимгереев Д.Ж. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я 147kz147@mail.ru*

Аманжол А.А. *студент, КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, Алматы., Республика Казахстан, я 147kz147@mail.ru*

1. Введение

Современные городские транспортные системы страдают от пробок, задержек и избыточных выбросов углерода. Инструменты на базе ИИ способны динамически анализировать данные от датчиков и камер, предсказывать трафик и оптимизировать работу светофоров и маршрутов. Так, исследования показывают, что адаптивные светофорные системы с ИИ могут сокращать время в пути на 20–25%, а интеллект-платформы типа City Brain в Ханчжоу уменьшили среднюю длительность поездки с 35 до 27 минут и ускорили выезд экстренных служб на 39%. Применение ИИ в транспорте также способствует снижению выбросов CO_2 и повышению устойчивости: в Ханчжоу цифровая система «Городской мозг» улучшила эффективность различных подсистем на 4–158% и сократила выбросы парниковых газов на 1.5% (углерод) и 6% (азотные).

Однако внедрение ИИ-технологий связано с рядом вызовов: необходимость модернизации инфраструктуры, решения задач сбоев и безопасности данных, нормативные ограничения и этические вопросы приватности. Для эффективного перехода к «AI-driven city» (городу, управляемому данными) рекомендуется планомерная дорожная карта: пилотные проекты на отдельных коридорах, оценка эффективности по ключевым метрикам (время в пути, выбросы, безопасность), постепенное масштабирование и контроль результатов. При этом важны непрерывный мониторинг и корректировка системы по мере накопления данных и выявления ограничений [1].

В этой статье даётся подробный обзор современных ИИ-технологий в городской транспорте, описание ключевых алгоритмов (маршрутизация, оптимизация сигналов, прогнозы трафика, обработка данных с датчиков), анализ реальных кейсов (международных и российских), а также рекомендации для властей: от инфраструктурных требований и бюджета до вопросов безопасности, этики и будущих исследований.

2. Материалы и методы

В городском транспорте применяются различные классы ИИ-методов. Машинное обучение (ML) и глубокое обучение (DL) анализируют исторические и текущие данные (с камер, GPS, сенсоров) для выявления шаблонов трафика и предсказания пиковых нагрузок. Классические статистические модели (ARIMA, регрессии) и современные нейросети (LSTM, сверточные сети) позволяют прогнозировать поток машин в зависимости от времени суток, дня недели и погоды. Например, ML-модели по анализу данных о поездках учатся предсказывать пробки за 30–60 минут вперёд, давая основы для управления маршрутизацией и светофорами.

Реинфорсмент-обучение (RL) (особенно в виде многозадачных агентских систем) активно исследуется для адаптивного управления светофорами и маршрутами. Такие алгоритмы учатся оптимизировать расписания сигналов светофоров, меняя их в реальном времени в ответ на плотность потока. Например, система Surtrac из Питтсбурга реализует распределённое RL-управление на перекрёстках, демонстрируя 25% сокращение времени поездки и 40% снижение простоев на светофорах.

Компьютерное зрение (CV) обрабатывает видеопоток с городских камер для определения интенсивности трафика, классификации транспорта (автомобили, автобусы, спецтехника) и фиксации нарушений. В проектах, подобных брянскому «ПАУК Traffic», используются нейросети для распознавания до 13 типов транспорта и измерения скорости и направления движения. CV-модули также используют для мониторинга состояния дорог: например, по дорогам Тюмени автомобильные комплексы сканируют ямы и трещины, формируя заявки на ремонт.

Прогнозирование спроса и цифровые двойники. Цифровой двойник города – виртуальная модель, объединяющая геопространственные данные и реальное время – позволяет тестировать сценарии развития инфраструктуры. Пример – проект «Virtual Singapore», где трёхмерная модель Сингапура интегрирует динамику дорожного движения и данные датчиков, позволяя оптимизировать схемы маршрутов и планировать изменения в городской сети.

Мультиагентные системы и IoT/Edge. В распределённых системах отдельные «агенты» (светофоры, знаки, транспортные средства) обмениваются данными в рамках Multi-Agent RL для согласованной работы. Периферийные вычисления (edge computing) и IoT-устройства снижают задержки: первые этапы обработки выполняются непосредственно на местах (например, обработка видеоаналитики в контроллерах), а сводные модели размещаются в облаке или центрах данных. Во многих проектах города устанавливают объединённые платформы (ситуационные центры), где интегрируются данные с тысяч датчиков и камер в реальном времени [2].

Основные методы оптимизации транспортных систем включают:

Маршрутизация и навигация. Алгоритмы (Dijkstra, A*, современные вариации с ML) строят оптимальные маршруты с учётом текущей ситуации на дорогах. В системах ИИ задача усложняется тем, что трафик сам меняется по реакции участников – решения должны учитывать непрерывно изменяющийся поток машин. Метрики здесь – среднее время поездки, загруженность коридоров. Примеры: сервисы реального времени (GPS-навигация) активно используют данные о пробках для предложения объезда, а ИИ-модули могут перераспределять транспорт по маршрутам.

Оптимизация сигналов светофоров. Задача – настраивать фазы светофоров так, чтобы минимизировать задержки. Традиционные методы адаптивны, но статичны. ИИ-алгоритмы прогнозируют поток и перераспределяют время сигналов в реальном времени. Метрика качества – среднее время ожидания на перекрёстке.

Прогнозирование трафика. Модели ML обучаются на истории данных о трафике, погоде, событиях и способны предсказывать характер потока с горизонтом от часов до дней. Метрики – точность прогноза (MAE, RMSE).

Балансировка нагрузки и мультимодальное планирование. ИИ анализирует различные виды транспорта и перераспределяет потоки между маршрутами.

Обработка данных с датчиков. Методы Big Data и стрим-аналитики позволяют обрабатывать терабайты информации в реальном времени.

3. Результаты

Ниже приведён обзор наиболее известных примеров применения ИИ для оптимизации транспорта. Рассматриваются решения, реализованные в различных условиях городской среды и отличающиеся по масштабу внедрения, архитектуре и используемым технологиям.

В таблице 1 представлено сравнение проектов внедрения ИИ в транспортных системах.

Таблица 1. Примеры внедрения ИИ в транспортных системах

Проект (город)	**Страна**	**Технология**	**Результаты**
Hangzhou City Brain	Китай	AI-платформа управления трафиком	Снижение времени поездки, ускорение служб
Surtrac (Pittsburgh)	США	RL-управление светофорами	−25% времени, −40% простоев
ATSAC (Los Angeles)	США	Централизованная система сигналов	−10% времени поездки
Connected Corridors	США	V2I-система	−17% времени, −12% выбросов
AI Traffic (Astana)	Казахстан	Ситуационный центр	Повышение безопасности
Virtual Singapore	Сингапур	Цифровой двойник	Оптимизация планирования
Казань ITS	Россия	ИИ-светофоры	Оптимизация движения
Брянск «ПАУК Traffic»	Россия	Видеодетекторы	Анализ потока
Тюмень	Россия	AI-скан дорог	Автоматизация ремонта

В анализ включены как централизованные платформы управления транспортными потоками, так и распределённые системы, основанные на взаимодействии датчиков, камер и интеллектуальных устройств.

Учитываются особенности обработки данных, включая использование видеонаблюдения, навигационной информации и сенсорных систем, а также подходы к интеграции различных источников информации в единую инфраструктуру. Отдельное внимание уделяется сопоставлению используемых технологических решений и достигнутых показателей эффективности, включая изменение времени поездок, уровня загрузки дорожной сети, показателей безопасности и экологических характеристик.

Как видно из сравнительной таблицы, внедрение ИИ-систем сопровождается количественными эффектами, которые выражаются в сокращении времени поездки, уменьшении простоев на светофорах и снижении уровня выбросов. Для ряда решений зафиксированы конкретные значения: снижение времени движения до 25%, уменьшение задержек на перекрёстках до 40%, сокращение выбросов загрязняющих веществ до 12%, а также ускорение работы экстренных служб до 39% [3].

В проектах, ориентированных на инфраструктуру, дополнительно достигается автоматизация контроля состояния дорог и повышение точности мониторинга транспортных потоков за счёт распознавания различных типов транспортных средств и анализа параметров движения. Внедрение централизованных платформ обеспечивает интеграцию данных с тысяч устройств, тогда как распределённые системы позволяют обрабатывать информацию локально с минимальными задержками. Экономический эффект

проявляется в снижении затрат на топливо, обслуживании дорожной сети и эксплуатации транспортной инфраструктуры, при этом масштаб получаемых результатов напрямую зависит от уровня внедрения системы и объёма используемых данных.

4. Обсуждение

Внедрение ИИ требует развития инфраструктуры связи и обработки данных. Необходимы высокоскоростные каналы связи (оптоволокно, 5G/LTE), чтобы обеспечить обмен больших объёмов данных между сенсорами, камерами и центрами обработки. Платформы собирают данные с тысяч устройств (камер, радаров, мобильных приложений) и передают их на серверы или облачные системы. Чувствительная информация иногда обрабатывается на «границе» сети (edge), чтобы снизить задержки (например, видеоконтроллеры анализируют поток локально и отправляют только результаты анализа).

Для совместимости разных систем используют открытые протоколы и форматы данных (ITS-G5, DSRC, C-V2X для связи; DATEX II, JSON/REST API для обмена информацией). Многие города переходят на единую цифровую платформу «ситуационного центра», где интегрируют данные с разных ведомств и подключают сторонние сервисы (информацию о ДТП, прогноз погоды, события города). Создаются единые стандарты отображения и API для доступа к загруженности улиц, положения транспорта и пр. Дополнительно реализуется унификация интерфейсов взаимодействия между подсистемами, что позволяет сократить затраты на внедрение новых компонентов и упростить сопровождение системы.

Системы проектируются модульно, чтобы масштабировать их на весь город: добавляются новые перекрёстки и сенсоры по мере готовности. Для критических функций применяют резервирование: дублирующие сети передачи или резервные центры обработки данных. При этом учитываются требования к отказоустойчивости и времени восстановления системы, особенно в условиях высокой нагрузки или аварийных ситуаций.

Прописываются требования к шифрованию каналов, аутентификации устройств и журналированию операций. Дополнительно внедряются механизмы контроля доступа и мониторинга активности, что позволяет выявлять аномалии и предотвращать несанкционированное вмешательство.

При использовании ИИ в транспорте возникают вопросы кибербезопасности. Сеть интеллектуальных светофоров и датчиков становится потенциальной мишенью, поэтому требуется защита от атак и подмены сигналов. Приватность связана с постоянным сбором данных о передвижении пользователей. В проектах применяется анонимизация данных, однако остаётся необходимость соблюдения нормативных требований и обеспечения прозрачности. Дополнительно рассматриваются вопросы хранения данных и ограничения сроков их использования.

Этические аспекты включают обеспечение справедливости и прозрачности алгоритмов. Также учитывается необходимость контроля принимаемых системой решений и возможность их корректировки со стороны оператора [4].

Для внедрения ИИ в транспортных системах рекомендуется поэтапный план: пилотные проекты, масштабирование, полная интеграция и мониторинг. На каждом этапе проводится оценка эффективности внедрённых решений с использованием количественных показателей, что позволяет корректировать дальнейшее развитие системы.

5. Выводы

ИИ в транспорте активно развивается, но остаются вызовы и направления исследований:

Сложность передачи опыта между разными городами; модели, обученные в одном месте, плохо работают в другом без дообучения. Исследователи развивают техники transfer learning и federated learning, чтобы ускорить адаптацию ИИ-моделей под новые города.

Необходимо понимать «решения» алгоритмов (XAI) – особенно при вмешательстве ИИ в критические задачи (светофоры, аварийные ситуации). Пока ИИ остаётся «чёрным ящиком», проектировщикам важно создавать механизмы валидации и контроля решений.

Даже в автоматизированных системах должен оставаться «человек в петле»: разрабатываются интерфейсы для диспетчеров и служб экстренной помощи, которые могут вмешиваться или приоритезировать трафик (например, открывать «зелёный коридор»).

Переход к стандартам «Responsible AI» (прозрачность, справедливость, экодизайн) обеспечивает долгосрочную стабильность. Например, стоит исследовать методы обучения без привлечения личности (privacy-preserving learning) и учитывать климатические факторы (прогнозы трафика с учётом изменений климата).

Перспективно использование квантовых алгоритмов оптимизации маршрутов и мультиагентных систем на периферийных устройствах (TinyML на датчиках). А IoT и 6G позволят подключать ещё больше «умных» объектов (сотни тысяч устройств), расширяя возможности сбора данных.

Научные исследования сфокусированы на задачах масштабирования (сотни узлов в сетях), киберфизических симуляциях (соединение цифровых двойников с реальным временем) и гибридных архитектурах (смешение классических оптимизаций и ИИ). Решение этих задач позволит создавать всё более интеллектуальные и «устойчивые» транспортные экосистемы в городах.

Литература

1. Artic Sledge. (2025). AI in Traffic Management: How Cities Cut Congestion & Save Lives. Artic Sledge. https://www.articsledge.com
2. Artificial Intelligence in Urban Transportation: Optimizing Smart Traffic Management for Sustainable Mobility (Conclusion). (2024). ResearchGate. https://www.researchgate.net
3. City brain promotes the co-reduction of carbon and nitrogen emissions. (2022). Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 166, 107738. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2022.107738
4. This AI traffic system in Pittsburgh has reduced travel time by 25%. (2017). Smart Cities Dive. https://www.smartcitiesdive.com

УДК: 621.86.06:621.87
МРНТИ: 73.41.39

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ГРУЗОЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА ГИДРОМАНИПУЛЯТОРА.

[1]Самбетов А.М., [1]Шоханов А.Ж., [1]Курманбек А.И., [1] Шарепин И.В., *[1]Рабат О.Ж.

[1]Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент e-mail: rabat747@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены концепция, принципы, структура и критерии организации основной системы цифровой трансформации - интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений, которая основана на разработанных виртуальных моделях 3D. Создание виртуальной модели рабочего органа разработанного грузозахватного устройства требует применения современных инновационных информационных технологий, создания специальных сред цифрового проектирования конструкций рабочего органа гидроманипулятора. Предложенная в статье конструкция отличается универсальностью и способна работать с грузами различных конфигураций, расширяя тем самым диапазон работ манипулятора и улучшая его эффективность.

Ключевые слова Рабочий орган, гидроманипулятор, цифровая трансформация, вертуальная модель, универсальность. эффективность.

Информация об авторах:

Эбикей Д.А., *Магистрант, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Курманбек А.И. *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Самбетов А.М., *Студент, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан*

Рабат О.Ж. *Д.т.н., профессор КазАДИ, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан e-mail: rabat747@mail.ru*

1. Введение

Переход на принципиально новую технологию «цифровой экономики» ставит перед всеми отраслями экономики масштабную и инновационную задачу цифровой трансформации.

Для цифровой трансформации требуется разработка единой стратегии выстраивания бизнес-моделей и процессов в рамках новой инфраструктуры на базе интеллектуальных информационных технологий [1].

Применение кранов-манипуляторов является очень выгодным и с точки зрения экономии времени и денег. Устройство способно заменить сразу два агрегата: грузовик и подъёмный кран. В связи с этим расходы на дополнительную технику и рабочий штаб существенно сокращаются, причём независимо от сферы использования устройства. Становится понятно, что этот современный агрегат многофункционален, и возможности его использования очень велики.

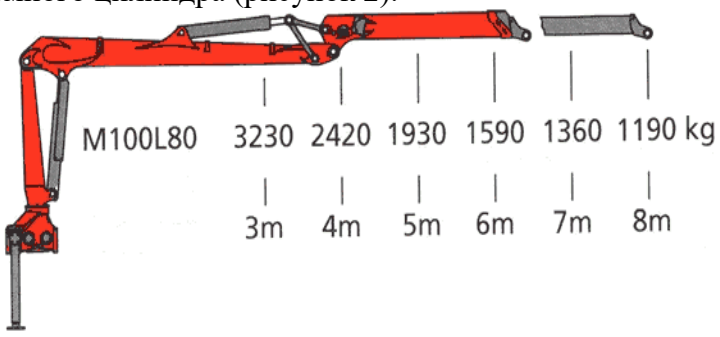
Сменные рабочие органы являются специализированными грузозахватными приспособлениями, предназначенными для работы с различными типами грузов, что позволяет значительно расширить области применения гидроманипуляторов и обеспечить их высокую производительность и универсальность при использовании их в различных отраслях народного хозяйства.

2.Материалы и методы.

Произведен исследование и анализ современных крано-манипуляторых установок и их рабочих органов. Обзор и анализ вышеуказанных материалов показал, что в основном, производством манипуляторных установок и их комплектующих занимаются в таких промышленно-развитых странах, такие как Германия, Австрия, Италия, США, Япония, Россия, Швеция и т.д.

Ниже приведены некоторые примеры, зарубежных передовых высокоэффективных конкурентоспособных крано-манипуляторных установок и их рабочих органов.

Pallfinger (Австрия) [3]. Срок службы конструкции гидроманипулятора более 15 лет. Рукава высокого расположен внутри конструкции манипулятора, что исключает повреждения маслоприводов и РВД. Рабочие температуры от – 40 до + 40 град. Благодаря системе HSS, которая направляет масло из одной полости цилиндра в другую, увеличивается скорость выдвижения цилиндров. Увеличенная грузоподъемность за счет рычажной подвески подъемного цилиндра (рисунок 2).



Риунок 1. Манипулятор конструкции Pafinger M100L80

 ISBN 978-601-08-5209-9

FASSI F80A.22 (Италия) [4]. При производстве крана-манипулятора используется высокопрочная и износостойкая сталь марки WELDOX 900, не теряющая своих свойств при низких температурах (до –60 °С). Может быть использовано любое навесное оборудование: палетные вилы, бурильное оборудование, ковши, лебедки и т.п. (за исключением люльки). Кран-манипулятор оснащен системами защиты, которые позволяют уменьшать скорость движения в случаях перегруза, а так же полной остановки и блокировки, в случае серьезных отклонений от необходимых норм (рисунок 3).



Рисунок 2. Манипулятор FASSI F80A.22

UNIC UR-V504 (Япония) [5]. Кран манипулятор UNIC UR-V504 — это гидравлический кран с полноповоротной телескопической стрелой и тросовой подвеской крюка (рисунок 4). В отличии от кран-манипулятора, не имеющих тросовой подвески грузозахватного органа, кран-манипулятор UNIC имеют следующие преимущества: простота конструкции: меньшее количество узлов и шарниров; повышение надежности и удешевление сервисного обслуживания; точное позиционирование груза за счет наличия тросовой подвески крюка; пускание груза строго вертикально по прямой, в отличии от траектории манипулятора жесткой конструкции; возможность подъема и опускания груза из-за препятствия (заборы, стены либо иные препятствия);



Рисунок 3. Манипулятор UR-V504

Одной из основных тенденций развития в области крано-манипуляторных установок являются вопросы безопасности. Компания Hiab (Швеция) разработала для Европы систему защиты оператора от опасности во время управления краном OPS (рисунок 5). Это достигается за счет ограничения движений крана в зоне «виртуальной кабины безопасности». Специальные датчики движения стрелы крана не позволят ей войти в зону безопасности оператора.



Рисунок 4. Система безопасности OPS компании Hiab

Обязательным атрибутом любого манипулятора является его грузозахватное устройство. Сменные рабочие органы являются специализированными грузозахватными приспособлениями, предназначенными для работы с различными типами грузов, что позволяет значительно расширить области применения гидроманипуляторов и обеспечить их высокую производительность и универсальность при использовании их в различных отраслях народного хозяйства.

Предложен обзор типов конструкций современных съемных рабочих органов.

Фирмой Ramtec Oy (Финляндия) выпускаются специализированные съемные рабочие органы [8]. Грейфер-разрушитель для сноса и демонтажа сооружений, разборки и сортировки Robi DG (рисунок 6) был разработан для работы в жестких условиях и соответствует самым высоким стандартам по сносу сооружений и утилизации. Его прочная и износостойкая конструкция, в совокупности с мощными гидроцилиндрами, обеспечивает наилучшие производственные показатели.



Рисунок 6. Грейфер Robi DG разрушитель железобетонных конструкций и гидроножницы металлических конструкций.

Компания Cranab AB (Швеция) предлагает передовые технические решения в области крано-манипуляторных установок и сменных рабочих органов [9].

Захваты Cranab представлены на рисунке 6. Их отличительные особенности заключаются в том что в захватах применены пальцы экспандерного типа, что позволяет увеличить срок службы в 4–5 раз до замены и составляет 10–12 тыс. часов наработки (обычные пальцы 2–3 тыс. часов наработки); форма захвата оптимизирована таким образом, что позволяет не загребать землю при сборе пачки с земли.



Рисунок 6. Захваты компании Cranab AB

Из обзора становится очевидным что современные грузозахватные устройства оснащаются гидравлическим приводом и производителями уделяется мало внимания повышению универсальности своей продукции. Это обусловлено стремлением к экономической выгоде, т.е. желанием предприятия реализовывать и обслуживать большее количество своей продукции.

Методика расчета параметров манипулятора.

 ISBN 978-601-08-5209-9

В этом разделе определены основные параметры, необходимое усилие гидроцилиндра подъемной стрелы манипулятора и произведен расчет на устойчивостью автомобиля с установленным манипулятором.

На рисунке 7 приведена схема определения усилий стрелы манипулятора

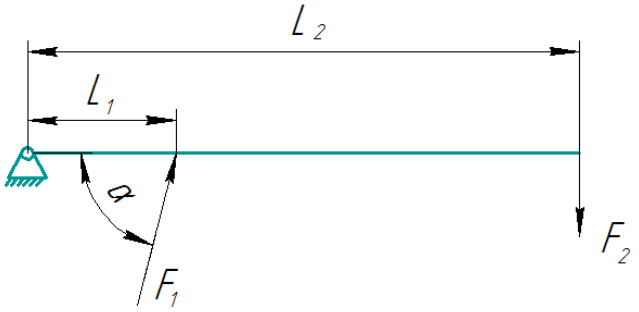


Рисунок 7. Расчетная схема рычага

По известному правилу рычага: $F_2 \cdot L_2 = F_1 \cos\alpha \cdot L_1$, (1)

где L_1 - расстояние от оси до точки приложения усилия от гидроцилиндра, L_2 – длина вылета стрелы, F_1 – усилие создаваемое гидроцилиндром, F_2 –усилие от веса груза и манипуляторного оборудования, α – угол между точкой приложения усилий гидроцилиндра и стрелой манипулятора.

находим:

$F_2 = (m_{зу} + m_{гр} + m_{гу}) \cdot K_{Д}$,

где $m_{зу}$ – масса стрелы манипулятора, $m_{зу}$ = 6 кН; $m_{гр}$ – масса груза, $m_{гр}$ = 20 кН; $m_{гу}$ – масса грузозахватного устройства, $m_{гу}$= 5 кН (из рассчетов в T-flex cad); $К_д$ – коэффициент динамичности, $К_д$ = 1,6.

В целях обеспечения устойчивости автомобиля с манипулятором и снижения материалоемкости подъемной стрелы, зададимся максимальной грузоподъемностью манипулятора на минимальном вылете стрелы в 2 тонны.

$F_2 = (6+20+5) \cdot 1{,}6 = 49{,}6$ кН.

Усилие развиваемое гидроцилиндром, в данном случае

$$F_1 = \frac{F_2 L_2}{\cos\alpha \cdot L_1}, \quad F_1 = \frac{49{,}6 \cdot 4{,}5}{0{,}34 \cdot 0{,}4} = 1641\,кН.$$

По справочнику наиболее близким является гидравлический цилиндр ОСТ 22-171-71 с усилием на штоке R=1963 кН и диаметром поршня d=100 мм. Необходимо номинальное давление $p_{ном}$=16 Мпа. Максимальное давление принято 20 МПа, пиковое 32 Мпа [10].

Грузоподъёмность Q при максимальном вылете стрелы

$Q=(F_2 - m_{зу} - m_{гу}) / K_{Д}$, $F_2 \cdot L_2 = F_1 \cdot \cos\alpha \cdot L_1$,

Q=(28,46-6-5) /1,6 = 10,9 кН = 1,09 тонны.

Грузоподъемный момент: $M = GL$, (2)

где G – грузоподъемная сила. $G = Qg$,

Основной силовой фактор – изгибающий момент в вертикальной плоскости в звеньях манипулятора (рукоять и стрела) при трехшарнирной подвеске рабочего органа изменяется примерно пропорционально расстоянию от конца манипулятора, поэтому соотношение M_2/M_1 *(оптимальные значения 0,35…0,45)* максимальных изгибающих моментов в стреле и рукояти манипулятора:

$$M_2/M_1=l_2/L= l_2/(l_1+l_2), \quad (3)$$

где l_1 – длина стрелы; l_2 – длина рукояти.

M_2/M_1=3/7,5=0,4.

Задавшись значением m, можно получить оценки длин звеньев соответственно рукояти и стрелы:

$$l_1 = m\, l_2, \quad (4)$$

где m – относительная длина стрелы для существующих манипуляторов, m = 0,8 ... 1,6.

$m= l_1/l_2$=4.5/3=1,5

3. Результаты

Для создания виртуальной модели использовалась бесплатная версия программного продукта T-flex cad 11. T-flex cad — система автоматизированного проектирования, разработанная компанией «Топ Системы» с возможностями параметрического моделирования и наличием средств оформления конструкторской документации согласно системе стандартов ЕСКД. Система работает на основе геометрического ядра Parasolid [11,12, 13]. Использование технологий 3d-моделирования позволяет существенно сократить затраты на проектирование, выпуск и испытание опытных образцов и дорогостоящей оснастки на пробные партии изделий. Это достигается за счет 3d-моделирования деталей и сборок в их естественном виде, проверки собираемости, связи САПР T-FLEX CAD 3d с программами конечно-элементного анализа (для проведения прочностного анализа). В конечном итоге, использование технологий 3d-моделирования снижает производственный брак и себестоимость выпускаемых изделий. Интерфейс программы T-flex cad 11 при создании 3d моделей представлен на рисунке 9.

Процесс создания 3d моделей рассмотрим на примере моделирования цилиндрического груза (трубы). Процесс создания модели состоит из следующих шагов: выбирается плоскость для черчения; на плоскости располагают линии исходного профиля, которые создают параметрическую основу будущего 3D профиля; в разделе «Операции» выбирают требуемую команду (в данном случае «вращение») и система автоматически строит объемную модель (рисунок 10) [14].

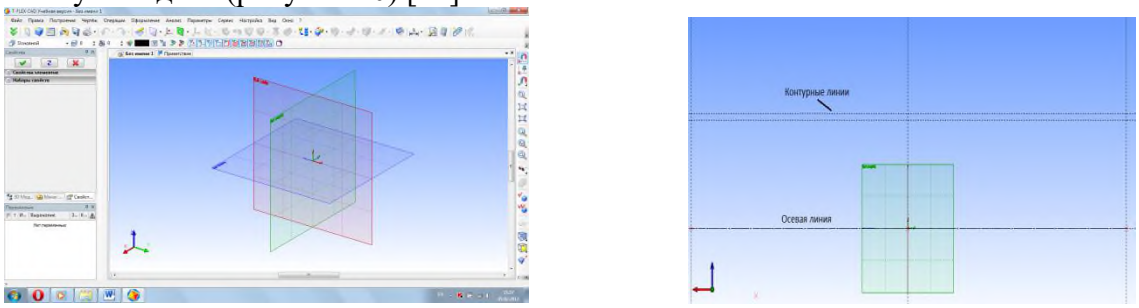


Рисунок 8. Стандартный интерфейс T-flex cad 11 и линии исходного профиля 3d модели

Созданы объемные модели деталей предлагаемого универсального грузозахватного устройства.

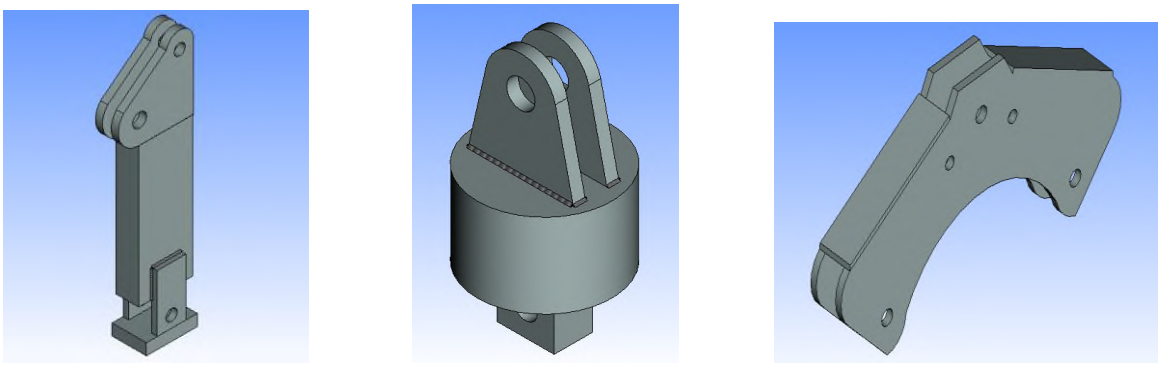


Рисунок 9. 3d модели: - цилиндрической трубы; - быстросъемной зажимной площадки; –модель подвижной руки; –модель ротатора; –модель базы

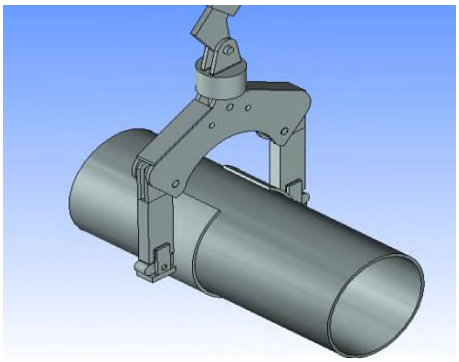


Рисунок 10. Параметрическая сборочная 3d–модель грузозахватного устройства

Из построенных деталей в режиме 3-d сборки была создана сборочная виртуальная 3-d модель предлагаемого грузозахватного устройства (рисунок 12). В подвижных узлах заданы соответствующие степени свободы.

Эффективность использования предлагаемого грузозахватного устройства по сравнению с аналогами, предложенная конструкция имеет следующие преимущества: а) применение быстросъемных зажимных площадок повышает универсальность грузозахватного устройства, что позволяет расширить диапазон работ с помощью манипулятора, тем самым повышая его эффективность; б) устройство может заменить несколько разновидностей грузозахватных устройств и способно транспортировать штучные, тарные, цилиндрические, длинномерные, сыпучие, кусковые и другие грузы. При работе с грузами различных конфигураций необходимо приобрести набор различных рабочих органов.

4. Обсуждение и рекомендации.

Предлагаемое грузозахватное устройство для манипулятора позволяет транспортировать штучные кусковые, цилиндрические, длинномерные, сыпучие грузы и может найти применение на приведенных ниже предприятиях: предоставляющих транспортные и погрузочно-разгрузочные услуги; автопарках предоставляющих аренду спецтехники; на предприятиях строительной области; в городских аварийных и коммунальных службах и др.

Были проведены обзоры предприятий Республики Казахстан, на которых предложенное универсальное грузозахватное устройство смогло бы найти выгодное применение. Предлагаемая автороми конструкция универсального грузозахватного

устройства позволит не покидая строительной площадки, за короткое время переоборудовать манипулятор для работы с грузами различных конфигураций, что сократит ручной труд, количество занятой техники и позволит тем самым снизить стоимость строительства.

5. Выводы.

Проведено исследование патентных фондов промышленно развитых стран в данной области техники, что дало возможность выявить перспективные типы исполнения грузозахватных устройств. В результате установлено, что на сегодняшний день актуальными являются грузозахватные устройства, работающие от гидравлического привода а также способные выполнять поворот вокруг вертикальной оси.

По результатам анализа авторы сделали конструктивное предложение по созданию универсального грузозахватного устройства для манипуляторов. Главной отличительной особенностью предложенной конструкции является наличие быстросъемных зажимных площадок приспособленных для работы с грузами различных конфигураций. Устройство может работать с кусковыми, сыпучими, длинномерными, цилиндрическими, штучными, плоскими и с грузами прямоугольного сечения. Данная конструкция позволяет сократить количество используемых грузозахватных устройств, расширяя диапазон работ манипулятора и существенно повышая его эффективность.

Авторами была построена параметрическая 3d модель предлагаемого устройства с помощью современного программного продукта T-flex cad. Модель позволяет проводить исследования на статическую прочность и определить коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям и выявить наиболее напряженные и опасные места деталей.

Как известно, организаторов современного производства интересует экономия всех видов ресурсов, в частности задействованных единиц техники при погрузочно-разгрузочных и транспортных работах. В статье предлагается использовать экономный вариант: один грузовой автомобиль с установленным манипулятором.

Список литературы

1. Краново-манипуляторные устройства – экономически рассчитанная целесообразность. (2021). *Подъемная сила*, (6), 14.
2. INMAN. (n.d.). Retrieved from http://www.inman.ru
3. Palfinger. (n.d.). Retrieved from http://www.palfinger.ru
4. Fassi. (n.d.). Retrieved from http://www.fassi.com
5. UNIC. (n.d.). Retrieved from http://www.unicmega.ru
6. Gruzovik.ru. (n.d.). Retrieved from http://www.gruzovik.ru
7. CarrierTech. (n.d.). Retrieved from http://cariertech.ru
8. ForestService. (n.d.). Манипуляторы Cranab. Retrieved from http://www.forestservice.ru/produktsiya/manipulyatory-cranab/54-zakhvaty-cranab-cr-280-i-cr-360.html
9. Udokan-Stroy. (n.d.). Производство. Retrieved from http://www.udokan-stroy.ru/proizvodstvo/ntp09.php
10. Сурашов, Н. Т., Помашев, О. П., & Боровский, А. Ю. (2011). Захватное устройство для грузов с центральным отверстием (Патент РК). Retrieved from http://patent.at.ua/publ/dinamika_patentovanija/1-1-0-20
11. Браилов, А. Ю. (2003). *Конспект лекций по компьютерной графике. Основы проектирования в системе T-FLEX*. Одесса: ОНПУ.
12. T-FLEX CAD. (n.d.). Retrieved from http://www.tflex.ru
13. Gposnab. (n.d.). Retrieved from http://www.gposnab.ru
14. DocLoad. (n.d.). Retrieved from http://www.docload.ru/Basesdoc/4/4072/index.htm

15. E-Crane. (n.d.). Kinshofer. Retrieved from http://www.ecrane.ru/ektnews/112-kinshofer.html

ӘОЖ: 004.8:007.52
ҒТАХА: 50.41.25

ЗАМАНАУИ РОБОТОТЕХНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

[1]Нурислан А.Ж., [2]Токтагулова У.С.

[1,2,]Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы
e-mail: toktagul_ulzhan@mail.ru

Аннотация Қазіргі кезеңде робототехника мен жасанды интеллект технологиялары ғылым мен техниканың ең қарқынды дамып келе жатқан бағыттарының бірі болып табылады. Робототехникалық жүйелер өндіріс, медицина, көлік, білім беру және қызмет көрсету салаларында кеңінен қолданылуда. Жасанды интеллект технологиялары роботтардың функционалдық мүмкіндіктерін кеңейтіп, олардың қоршаған ортамен өзара әрекеттесуін және автономды жұмыс істеу қабілетін жетілдіруге мүмкіндік береді. Мақалада заманауи робототехникалық жүйелердің құрылымы, негізгі компоненттері, сонымен қатар жасанды интеллекттің қолданылу ерекшеліктері жан-жақты қарастырылады. Сонымен қатар робототехникалық жүйелердің басқару принциптері, сенсорлық жүйелердің рөлі, ақпаратты жинау және өңдеу алгоритмдері, роботтардың автономды әрекеттерін қамтамасыз ететін жүйелер сипатталады. Зерттеу барысында жасанды интеллекттің робототехника саласындағы қолдану бағыттары талданып, оның өндірістік, білім беру және әлеуметтік салалардағы тиімділігі көрсетіледі. Сонымен қатар, интеллектуалды басқару алгоритмдері мен навигациялық жүйелердің рөлі зерттеліп, робототехникалық жүйелердің қауіпсіздігі, сенімділігі және адам факторымен өзара әрекеттесу жолдары қарастырылады. Жүргізілген талдау нәтижесінде жасанды интеллект технологиялары робототехникалық жүйелердің тиімділігін арттыруға, олардың автономды және интеллектуалды қызметін жетілдіруге, сондай-ақ болашақтағы даму мүмкіндіктерін кеңейтуге ықпал ететіні анықталды.

Кілттік сөздер робототехника, жасанды интеллект, робототехникалық жүйелер, басқару алгоритмдері, автоматтандыру, сенсорлар

Нурислан А.Ж. *Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ-автомобиль жол институты*
«Ақпараттық жүйелер» мамандығының 2-курс студенті
Алматы қ., Қазақстан Республикасы. E-mail: nrslnv077@gmail.com

Токтагулова У.С. *Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ-автомобиль жол институты*
«КИж/еАТ» кафедрасының аға оқытушысы, магистр
Алматы қ., Қазақстан Республикасы. E-mail: toktagul_ulzhan@mail.ru

1. Кіріспе

Робототехника қазіргі заманғы ғылым мен технологияның ең перспективалы бағыттарының бірі болып табылады. Оның негізінде механика, электроника, информатика, автоматтандыру және жасанды интеллект салаларының тоғысуы жатыр. Робототехникалық жүйелер адам күшін ауыстыруға немесе қолдау көрсетуге арналған, белгілі бір тапсырмаларды автономды немесе жартылай автономды түрде орындауға қабілетті құрылғылар болып табылады.

Қазіргі цифрлық трансформация жағдайында робототехника тек өндірістік салада ғана емес, қоғамның барлық дерлік бағыттарында маңызды рөл атқара бастады. Әсіресе, «ақылды» жүйелер мен киберфизикалық жүйелердің дамуы роботтардың функционалдық мүмкіндіктерін айтарлықтай кеңейтті. Бұл өз кезегінде адамның күнделікті өмірін жеңілдетіп, еңбек өнімділігін арттыруға ықпал етеді.

Робототехниканың даму тарихы XIX ғасырдың соңынан бастау алады. Алғашқы механикалық роботтар тек қарапайым қозғалыстарға арналған болса, XX ғасырдың ортасында өндірістік және зерттеу роботтары пайда болды. XX ғасырдың соңында және XXI ғасырдың басында роботтар автономды түрде шешім қабылдай алатын

интеллектуалды жүйелерге айнала бастады. Бұл – жасанды интеллекттің робототехникаға енуінің нәтижесі.

Жасанды интеллекттің қарқынды дамуы робототехникалық жүйелердің жаңа буынын қалыптастырды. Қазіргі роботтар тек алдын ала берілген бағдарламаларды орындап қана қоймай, сыртқы ортаға бейімделіп, тәжірибе жинақтап, өз әрекеттерін жетілдіре алады. Мұндай мүмкіндіктер машиналық оқыту, терең нейрондық желілер және үлкен деректерді өңдеу технологиялары арқылы жүзеге асырылады.

Қазіргі уақытта робототехника саласы өндіріс, медицина, көлік, ғарыштық зерттеулер, білім беру және тұрмыстық қызмет көрсету салаларында кеңінен қолданылады. Мысалы, өндірісте роботтар қауіпті және ауыр жұмыстарды атқарса, медицинада жоғары дәлдікті талап ететін операцияларды орындауға көмектеседі. Ал білім беру саласында робототехника оқушылардың логикалық ойлауын және шығармашылық қабілеттерін дамыту құралы ретінде қарастырылады.

Сонымен қатар, робототехниканың дамуы қоғамда бірқатар жаңа мәселелерді де туындатады. Атап айтқанда, еңбек нарығындағы өзгерістер, адам мен машина арасындағы өзара әрекеттесу, деректер қауіпсіздігі және этикалық аспектілер ерекше назар аударуды талап етеді. Сондықтан робототехникалық жүйелерді дамыту тек техникалық тұрғыдан ғана емес, әлеуметтік және құқықтық тұрғыдан да кешенді түрде қарастырылуы тиіс.

Бұл зерттеудің мақсаты – робототехникалық жүйелерде жасанды интеллект технологияларын қолдану ерекшеліктерін талдау және олардың заманауи даму бағыттарын көрсету. Зерттеу міндеттері: робототехникалық жүйелердің құрылымын сипаттау, жасанды интеллект технологияларын талдау, роботтарды басқару алгоритмдерін қарастыру және заманауи роботтардағы қолдану салаларын көрсету. Сонымен қатар, зерттеу барысында жасанды интеллекттің роботтардың тиімділігіне әсері мен олардың болашақтағы даму перспективаларына баға беру көзделеді.

2. Материалдар мен әдістер

Зерттеу барысында робототехникалық жүйелердегі жасанды интеллект технологияларын жан-жақты талдау мақсатында бірнеше ғылыми әдістер кешені қолданылды. Атап айтқанда, әдеби талдау, салыстырмалы талдау, жүйелік талдау және модельдеу әдістері пайдаланылды.

Ғылыми зерттеудің ақпараттық базасын отандық және шетелдік ғалымдардың еңбектері, ғылыми мақалалар, монографиялар, сондай-ақ заманауи зерттеу жұмыстары құрады. Бұл дереккөздер робототехника мен жасанды интеллекттің теориялық негіздерін және олардың практикалық қолданылуын тереңірек түсінуге мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында робототехникалық жүйелердің негізгі құрылымдық элементтері қарастырылды. Атап айтқанда, басқару жүйелері, сенсорлық құрылғылар, атқарушы механизмдер (жетектер), сондай-ақ бағдарламалық қамтамасыздандыру компоненттерінің өзара байланысы талданды. Бұл компоненттердің үйлесімді жұмысы роботтардың тиімді қызмет етуін қамтамасыз ететіні анықталды.

Зерттеу әдістеріне төмендегілер жатады:

- Теориялық әдіс – робототехникалық жүйелердің архитектурасын, олардың негізгі компоненттерін және басқару принциптерін сипаттау арқылы жүйенің жалпы құрылымын анықтау;
- Салыстырмалы талдау әдісі – әртүрлі роботтардың функционалдық мүмкіндіктерін, сондай-ақ жасанды интеллект алгоритмдерінің тиімділігін өзара салыстыру;
- Жүйелік талдау әдісі – робототехникалық жүйелердің элементтерін біртұтас жүйе ретінде қарастырып, олардың өзара әрекеттесуін зерттеу;
- Модельдеу әдісі – сенсорлық жүйелердің, навигациялық алгоритмдердің және автономды басқару механизмдерінің жұмыс істеу принциптерін модельдеу арқылы көрсету.

Сонымен қатар зерттеу барысында заманауи бағдарламалық орталар мен роботтарды басқару тілдері қарастырылды. Олардың ішінде робототехникалық жүйелерді әзірлеуде кеңінен қолданылатын бағдарламалық платформалар, компьютерлік көру технологиялары және сигналдарды өңдеу әдістері талданды.

Зерттеудің негізгі мақсаты – робототехникалық жүйелерде жасанды интеллект технологияларын қолданудың тиімділігін негіздеу және олардың практикалық маңыздылығын көрсету болып табылады. Осыған байланысты зерттеу нәтижелері роботтарды жетілдіру мен олардың функционалдық мүмкіндіктерін арттыруға бағытталған.

3. Нәтижелер

Зерттеу нәтижелері робототехникалық жүйелердің құрылымы күрделі және көпдеңгейлі екенін көрсетті. Заманауи роботтар өзара тығыз байланыста жұмыс істейтін бірнеше негізгі компоненттерден тұрады, олардың әрқайсысы жүйенің тиімді қызмет етуінде маңызды рөл атқарады.

Робототехникалық жүйелердің негізгі құрылымдық элементтері төмендегідей анықталды:

1. Механикалық құрылым – роботтың физикалық негізін құрайды. Оған манипуляторлар, қозғалыс механизмдері, дөңгелектер немесе шынжыр табандар жатады. Бұл компонент роботтың кеңістікте қозғалуын және нақты әрекеттерді орындауын қамтамасыз етеді. Құрылымның беріктігі мен икемділігі роботтың жұмыс сапасына тікелей әсер етеді.

2. Сенсорлық жүйелер – роботтың қоршаған ортаны қабылдауын қамтамасыз ететін негізгі элементтердің бірі. Сенсорларға қашықтық, жарық, температура, дыбыс және қозғалыс датчиктері жатады. Зерттеу нәтижелері сенсорлық жүйелердің дәлдігі мен сезімталдығы роботтың қоршаған ортаға бейімделу қабілетін айқындайтынын көрсетті.

3. Басқару жүйесі – роботтың «миы» ретінде қарастырылады. Ол бағдарламалық қамтамасыздандыру негізінде сенсорлардан алынған ақпаратты өңдеп, тиісті шешім қабылдайды және атқарушы механизмдерге басқару сигналдарын жібереді. Бұл жүйеде жасанды интеллект алгоритмдері маңызды рөл атқарады.

4. Атқарушы механизмдер – роботтың нақты әрекеттерді орындауына жауап береді. Электрқозғалтқыштар, сервожетектер және гидравликалық жүйелер арқылы робот қозғалыс жасап, тапсырмаларды орындайды. Олардың дәлдігі мен жылдамдығы роботтың жалпы өнімділігіне әсер етеді.

Жүргізілген талдау нәтижесінде жасанды интеллект технологияларын енгізу робототехникалық жүйелердің функционалдық мүмкіндіктерін едәуір арттыратыны анықталды. Атап айтқанда, жасанды интеллект роботтарға қоршаған ортаны талдауға, объектілерді тануға және өз әрекеттерін оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Компьютерлік көру технологиялары роботтарға бейнелерді өңдеуге, объектілерді анықтауға және кеңістіктік бағдарлануды жүзеге асыруға жағдай жасайды. Ал машиналық оқыту алгоритмдері роботтарға тәжірибе негізінде үйреніп, уақыт өте келе өз әрекеттерін жетілдіруге мүмкіндік береді. Бұл роботтардың алдын ала берілген сценарийлермен ғана шектелмей, өзгермелі жағдайларда да тиімді жұмыс істеуіне жол ашады.

Зерттеу нәтижелері заманауи роботтардың автономды жұмыс істеу деңгейі жоғары екенін көрсетті. Олар өздігінен қозғалып, кедергілерді анықтап, оларды айналып өте алады, сондай-ақ логистикалық және өндірістік тапсырмаларды тиімді орындайды. Кейбір роботтар тіпті күрделі ортада навигация жасап, бірнеше міндетті қатар орындау қабілетіне ие.

Сонымен қатар, зерттеу барысында жасанды интеллект негізіндегі робототехникалық жүйелердің өнімділікті арттырумен қатар, адам еңбегін жеңілдетуге және қауіпті жағдайларда қауіпсіздікті қамтамасыз етуге мүмкіндік беретіні анықталды.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер робототехника мен жасанды интеллекттің интеграциясы заманауи технологиялардың дамуының негізгі бағыты екенін және оның болашақта одан әрі кеңейе түсетінін көрсетеді.

4. Талқылау

Алынған нәтижелер робототехника саласында жасанды интеллект технологияларын қолдану роботтардың тиімділігін арттыратынын көрсетеді. Интеллектуалды басқару жүйелері роботтарға күрделі тапсырмаларды орындауға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар сенсорлық жүйелер мен ақпаратты өңдеу алгоритмдерінің дамуы роботтардың қоршаған ортамен өзара әрекеттесу қабілетін жақсартады. Бұл әсіресе автономды көлік жүйелері мен мобильді роботтарды дамытуда маңызды рөл атқарады.

Дегенмен робототехника саласында әлі де шешімін қажет ететін мәселелер бар. Оларға жүйелердің сенімділігі, қауіпсіздігі және энергия тиімділігі жатады. Болашақта осы бағыттар бойынша зерттеулер жүргізу робототехникалық жүйелердің мүмкіндіктерін одан әрі кеңейтуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, жасанды интеллект алгоритмдерінің күрделілігі оларды нақты уақыт режимінде қолдануды қиындатуы мүмкін. Бұл есептеу ресурстарына жоғары талаптар қояды және жүйенің жалпы өнімділігіне әсер етеді. Осыған байланысты тиімді алгоритмдер мен оңтайландырылған есептеу әдістерін әзірлеу өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Тағы бір маңызды аспект – адам мен робот арасындағы өзара әрекеттесуді жетілдіру. Пайдаланушыға ыңғайлы интерфейстер мен қауіпсіз байланыс механизмдерін дамыту роботтарды кеңінен қолдануға жол ашады.

Жалпы алғанда, робототехника мен жасанды интеллекттің бірлескен дамуы ғылыми-техникалық прогрестің негізгі бағыттарының бірі болып қалыптасып отыр және алдағы уақытта бұл салада жаңа инновациялық шешімдер пайда болады деп күтіледі.

5. Қорытынды

Робототехника мен жасанды интеллект қазіргі заманғы технологиялардың маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Жасанды интеллект технологиялары роботтардың функционалдық мүмкіндіктерін кеңейтіп, олардың автономды жұмыс істеу қабілетін арттырады.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері робототехникалық жүйелерде интеллектуалды алгоритмдерді қолдану олардың тиімділігін айтарлықтай арттыратынын көрсетті. Сонымен қатар роботтардың өндіріс, медицина және қызмет көрсету салаларындағы қолдану мүмкіндіктері кеңейіп, олардың практикалық маңызы артып келеді.

Зерттеу барысында робототехникалық жүйелердің негізгі құрылымы мен жұмыс істеу принциптері талданып, жасанды интеллект технологияларының рөлі айқындалды. Бұл технологиялар роботтардың қоршаған ортаға бейімделуін, деректерді өңдеу жылдамдығын және шешім қабылдау дәлдігін жақсартатыны анықталды.

Сонымен қатар, робототехника саласының дамуы жаңа ғылыми-техникалық міндеттерді де алға қояды. Атап айтқанда, жүйелердің сенімділігін арттыру, қауіпсіздігін қамтамасыз ету және энергия тиімділігін жақсарту бағыттарында қосымша зерттеулер жүргізу қажет.

Болашақта робототехника мен жасанды интеллект технологияларының дамуы көптеген салалардың автоматтандырылуына, еңбек өнімділігінің артуына және инновациялық шешімдердің пайда болуына ықпал етеді. Осыған байланысты аталған бағыттар ғылыми зерттеулер мен инженерлік әзірлемелердің басым саласы ретінде өзектілігін сақтайды.

Әдебиет

1. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). New York, NY: Pearson Education.
2. Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). (2016). *Springer Handbook of Robotics* (2nd ed.). Cham, Switzerland: Springer.
3. Corke, P. (2017). *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB*. Cham, Switzerland: Springer.
4. Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2020). *Robot Modeling and Control*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
5. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
6. Романов, Д. В., Лукин, П. А., & Тимофеев, В. В. (2025). *Робототехника и искусственный интеллект: Учебник для вузов [Robotics and Artificial Intelligence: Textbook for Universities]*. Санкт-Петербург, Russia: Лань. https://e.lanbook.com/book/482993
7. Лукин, П. А., Машуков, Я. М., & Романов, Д. В. (2025). *Робототехника и искусственный интеллект: Учебник для СПО [Robotics and Artificial Intelligence: Textbook for Vocational Schools]*. Санкт-Петербург, Russia: Лань. https://e.lanbook.com/book/482993
8. Бегишев, И., & Хисамова, З. (2022). *Искусственный интеллект и робототехника: Глоссарий понятий [Artificial Intelligence and Robotics: Glossary of Terms]*. Moscow, Russia: RusBooks. https://rusbooks.lv/catalog/knigi/spravochnaya-literatura/tekhnicheskie-nauki-transport/tekhnicheskie-nauki-v-tselom/iskusstvennyy-intellekt-i-robototekhnika-glossariy-ponyatiy-869224
9. Сарсембаев, А. Е., & Нұрпейісов, М. С. (2020). *Робототехника негіздері [Fundamentals of Robotics]*. Алматы, Kazakhstan: Қазақ университеті.
10. Әбілқасымов, Б. Қ. (2021). *Цифрлық білім беру технологиялары және робототехника [Digital Education Technologies and Robotics]*. Алматы, Kazakhstan: Ғылым.