

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.Ф. МОРОЗОВА»

АВТОМОБИЛЬНОЕ И ТРАКТОРНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ РОССИИ:
ПУТИ РАЗВИТИЯ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Материалы Всероссийской научно-практической конференции

Воронеж, 13-14 ноября 2025 г.

Воронеж 2025

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION
OF HIGHER EDUCATION
«VORONEZH STATE UNIVERSITY OF FORESTRY AND TECHNOLOGIES
NAMED AFTER G.F. MOROZOV»

AUTOMOTIVE AND TRACTOR ENGINEERING IN RUSSIA:
WAYS OF DEVELOPMENT AND PERSONNEL TRAINING

Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference

Voronezh, November 13-14, 2025

Voronezh 2025

УДК 629.3.01+629.3.03+629.3.05

A22

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. Годжаев З.А. (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ); д-р техн. наук, проф. Диридзидзе О.Н. (МГАУ им. Тимирязева); д-р техн. наук Загарин Д.А. (НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ»); д-р техн. наук, проф. Евтуков С.А. (Институт безопасности дорожного движения. г.Санкт-Петербург); д-р техн. наук, доц. Хакимов Р.Т. (ФГБОУ ВО СПбГАУ); д-р техн. наук, проф. Онищенко Д.О. (МГТУ им. Н.Э. Баумана); д-р техн. наук, проф. Иванников В.А. (ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»); д-р техн. наук, проф. Кадырметов А.М. (ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»); д-р техн. наук, проф. Зеликов В.А. (ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»); д-р техн. наук, проф. Дорняк О.Р. (ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»); д-р техн. наук, проф. Посметьев В.И. (ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»).

A22 Автомобильное и тракторное машиностроение России: пути развития и подготовка кадров : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 13-14 ноября 2025 г. / отв. ред. В. И. Прядкин ; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2025. – 157 с. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2025/avtomobilnoe-i-traktornoe-mashinostroenie-rossii-puti-razvitiya-i-podgotovka-kadrov/>. – Текст: электронный.

ISBN 978-5-7994-1218-0

Материалы конференции содержат результаты исследований специалистов и учёных в различных областях фундаментальных и прикладных наук, направленных на изучение различных процессов и явлений роботизации и автоматизации в автомобиле- и тракторостроении. Приведены разработки по повышению эффективности в автомобиле- и тракторостроении.

Материалы конференции предназначены для научных и педагогических работников, специалистов технических направлений, аспирантов и студентов.

УДК 629.3.01+629.3.03+629.3.05

ISBN 978-5-7994-1218-0

© ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Артёмов А.В., Прядкин В.И., Татаринцев В.Ю., Пугонин А.Е. Спортивные кроссовые автомобили и их шины	4
Артёмов А.В., Прядкин В.И., Татаринцев В.Ю., Сотников Д.А. Применение систем технического зрения при испытаниях шин.....	15
Годжаев З.А., Прядкин В.И., Артёмов А.В., Годжаев Т.З. Концепция экологически безопасного трактора класса 2 с электромеханическим силовым приводом.....	23
Жайворонок Д.А., Бухтояров В.Н., Голев А.Д., Швырев А.Н. Искусственный интеллект в управлении роботизированными агрегатами автомобилей и тракторов	32
Жайворонок Д.А., Шакина Ф.А., Крухмалев С.Н. Перспективы применения синтетического электро-топлива в контексте декарбонизации транспорта	38
Затонский А.П., Мерчалов С.В., Прядкин В.И., Мураткин С.Е. Улучшение экологических качеств ДВС путем применения очистки отработавших газов.....	44
Колядин П.А., Рубцов Е.Г., Татаринцев В.Ю., Прядкин В.И. Применение комбинированного упругого элемента в подвеске автомобиля УАЗ Патриот.....	54
Ларионов М.А., Онищенко Д.О., Прядкин В.И., Школьных А.В., Быстров И. Р. Контроль качества на автомобильных заводах: проблемы и пути решения.....	67
Ларионов М.А., Татаринцев В.Ю., Федорин Ф.Д., Сотников Д.А., Прядкин В.И. Электронные системы безопасности автомобилей.....	78
Мураткин С.Е., Татаринцев В.Ю., Артёмов А.В., Колядин П.А., Прядкин В.И. Влияние параметров жёсткости различных шин на повышение плавности хода мини-трактора Уралец-254.....	96
Онищенко Д.О., Прядкин В.И., Артёмов А.В., Колядин П.А., Татаринцев В.Ю. Оценка плавности хода специального транспортного средства «МАНГУСТ»	105
Онуфриев С.Ю., Прядкин В.И., Писарева С.В., Быстров И.Р. Цифровизация и искусственный интеллект на автомобильных заводах: мировой и отечественный опыт.....	114
Попов Д. А., Попов П.Н., Кабанцов В.Д, Иванов Д.А. Динамика развития двухтопливных и газовых систем питания ДВС на транспорте: проблемы и перспективы	128
Посметьев В.И., Никонова В.О. О концепции системного подхода решения проблем автомобильного транспорта в условиях урбанизированных территорий...	139
Прядкин В.И., Колядин П.А. Динамическая нагруженность штанг самоходного опрыскивателя на шинах сверхнизкого давления.....	150

Артёмов А.В.

старший преподаватель кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Татаринцев В.Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Пугонин А.Е.

магистр 2 курса политехнического института сибирского федерального университета, г. Красноярск, РФ

Artemov A.V.

senior lecturer of the department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doktor of technical sciences, professor, department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Tatarintsev V.Yu.

assistant of the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Pugonin A.E.

2nd year Master's degree from the Polytechnic Institute of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

СПОРТИВНЫЕ КРОССОВЫЕ АВТОМОБИЛИ И ИХ ШИНЫ**SPORTS CROSS-COUNTRY CARS AND THEIR TIRES**

Аннотация. В статье рассматриваются виды шин для спортивных кроссовых автомобилей типа багги. Проведены экспериментальные исследования шины модели НК-11 размерностью 185/70 R13 на специальном стенде. Полученные значения радиальной жёсткости шины свидетельствуют о том, что между нагрузкой и радиальной деформацией отсутствует линейная зависимость, а при снижении давления воздуха в шине увеличивается площадь петли гистерезиса и величина остаточной деформации.

Abstract. The article discusses the types of tires for sports cross-country cars such as buggies. Experimental studies of the NK-11 tire with a dimension of 185/70 R13 were carried out on a special stand. The obtained values of radial stiffness of the tire indicate that there is no linear relationship between load and radial deformation, and with a decrease in air pressure in the tire, the area of the hysteresis loop and the amount of residual deformation increase.

Ключевые слова: спортивные кроссовые автомобили, багги, шины, бездорожье, испытания, нагрузочная характеристика, радиальная деформация, давление.

Keywords: sports cross-country cars, buggies, tires, off-road, testing, load characteristics, radial deformation, pressure.

Введение

Спортивные кроссовые автомобили (багги) — это лёгкие, открытые машины, предназначенные для езды по бездорожью. Их конструкция (рис. 1) отличается простотой: отсутствие крыши и дверей, открытая компоновка, мощный двигатель и усиленная подвеска [1-3].

Часто багги оснащаются специальными шинами (рис. 2) с глубоким протектором для лучшего сцепления с грунтом, песком или грязью [4, 5].



а – тактический багги Ariel Atom Nomad; *б* – багги KTM;
в – багги Раптор 1500; *г* – багги CAN-AM MAVERICK X3

Рисунок 1 – Спортивные кроссовые автомобили

Дорожные шины предназначены для компромиссного взаимодействия с разными опорными поверхностями: асфальтными дорогами, грунтовыми и слабо уплотненными опорными основаниями. Они обеспечивают стабильность управления, высокую проходимость и долговечность при эксплуатации в условиях бездорожья и смешанных климатических условиях.

Грязевые шины предназначены для максимальной проходимости в условиях интенсивного бездорожья, включая грязевые болота, речные переправы, снежные трассы и лесные массивы. Высокое сцепление с вязкими поверхностями позволяет абсорбировать удары от неровностей и минимизировать риск вязкого западания за счет оптимизированной геометрии протектора и свойств резиновой смеси.

Песчаные шины предназначены для максимальной проходимости на сухих и уплотненных песчаных участках, таких как пустыни, балки и солончаки.

Они минимизируют риск западания и обеспечивают стабильное сцепление с поверхностью, предотвращая проскальзывание при движении.

Вседорожные шины предназначены для компромиссногорешения между эксплуатацией на асфальтовых покрытиях и сложных бездорожных условиях. Поддерживая оптимальные характеристики в любое время года и при любых погодных условиях, сочетая высокую проходимость с комфортабельностью на традиционных дорогах [4, 5].



a – шины дорожные; *б* – шины грязевые/внедорожные;
в – шины для песка; *г* – шины вседорожные

Рисунок 2 – Шины различного назначения для спортивных кроссовых автомобилей

Цель и задачи исследования

Целью исследования является оценка возможности применения шин Мастер-Спорт НК-11 в конструкциях спортивных кроссовых автомобилей.

Задачи исследования:

1. Анализ технических характеристик и условий работы шин спортивных кроссовых автомобилей;

2. Разработка программы и методики проведения испытаний по определению радиальной жесткости шин спортивных кроссовых автомобилей;

3. Определение упругих характеристик шины Мастер-Спорт НК-11 на стендовом оборудовании СИХШ-2500-1000.

Объект исследования

Объектом исследования в данной работе является пневматическая шина радиальной конструкции размерностью 185/70 R13 модели НК-11 (рис. 3) производства компании «Мастер Спорт» в камерном исполнении с высотой грунтозацепа 16 мм. Предназначена для использования на легковых багги и спортивных кроссоверах, а также легких вездеходных транспортных средств, эксплуатируемых вне дорог на грунтах с малой несущей способностью (заболоченной местности, песчаном неуплотненном грунте, снежном покрове, льду и вспаханном поле). Её конструкция обеспечивает баланс между проходимостью и управляемостью на твердых и умеренно рыхлых поверхностях. Камерная конструкция делает ее подходящей для эксплуатации на асфальтированных дорогах, но с ограничениями по проходимости в бездорожье.



а



б

а – общий вид шины НК-11; б – шина НК-11 во время испытаний

Рисунок 3 – Объект исследований шина Мастер Спорт НК-11

Основные технические характеристики шины Мастер Спорт НК-11 представлены в таблице.

Таблица – Технические характеристики шины Мастер Спорт модели НК-11

Наименование показателя	ТУ 381.04-11-06-91
Обозначение шины	185/70 R13
Обозначение модели шины	НК-11
Тип рисунка протектора	Вседорожный
Высота грунтозацепа, мм	16
Исполнение	Камерное
Индекс нагрузки	83
Индекс скорости	J
Размеры новой шины, мм:	
- ширина профиля шины	185
- ширина профиля шины	264
- посадочный диаметр	330
Нормы эксплуатационных режимов:	
- максимально допускаемая нагрузка на шину, кг	487
- внутреннее давление, соответствующее максимальной допускаемой нагрузке на шину, кПа	192
- минимально допускаемое давление, кПа	142
- нагрузка на шину, соответствующая минимальному допускаемому давлению в шине, кг	250
Максимальная скорость, км/ч	100

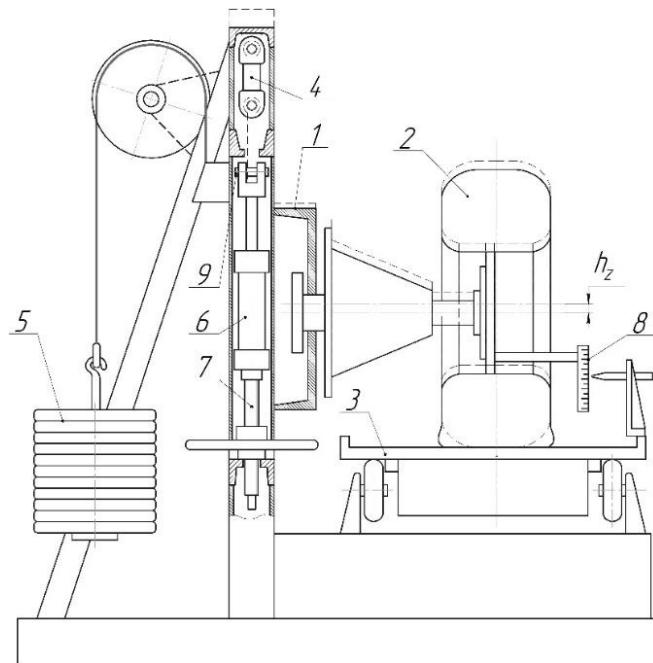
В качестве измеряемого параметра, определяющего выходные параметры шины Мастер Спорт НК-11 выбран наиболее значимый показатель взаимодействия шины с опорным основанием, а именно – радиальная деформация шины (h_{zui}).

Материалы и методы исследования

Лабораторные испытания шины проводились на универсальном стенде СИХШ 2500-1000. В процессе испытаний проводится радиальная обжимка, определяются массово-геометрические показатели, снимаются отпечатки площадей контакта шин, измеряются удельные давления и экологические показатели [6-8].

Нагрузочная характеристика шины (рис. 4 и рис. 5) снималась на стенде СИХШ 2500-1000 двумя способами. При первом способе устанавливалось заданное давление воздуха и на этом давлении снималась зависимость между

нагрузкой и радиальной деформацией. Далее опыты повторялись при различных давлениях воздуха. По второму способу на каждом из установленных давлений воздуха снимались циклы «нагрузка-разгрузка», по полученным значениям строились петли гистерезиса.



1 – подвижная каретка; 2 – испытуемая шина; 3 – стол стенда; 4 – тензозвено радиальной нагрузки; 5 – груз на противовесе; 6 – гидроцилиндр нагрузки; 7 – винт; 8 – измерительная линейка; 9 – палец фиксирующий

Рисунок 4 – Конструктивно-принципиальная схема определения нагрузочной характеристики шины

Радиальный прогиб шины выражен формулой:

$$h_z = h_{z0} + \alpha \frac{G_z}{\sqrt{P_w}}, \quad (1)$$

где h_z – радиальный прогиб шины, или шины с грунтом; h_{z0} – постоянный для данной шины коэффициент, мм; α – постоянный для данной шины коэффициент, $\text{кг}\cdot\text{кПа}^{-0,5}$; G_z – нормальная нагрузка на шину, кг P_w – внутреннее давление воздуха в шине, кПа.

Радиальная жесткость шины определялась по формуле [64]:

$$C_z = \frac{\sqrt{P_w}}{\alpha}, \text{ кН/м} \quad (2)$$

где P_w – давление воздуха в шине.

Влияние давления воздуха на коэффициент рассеивания энергии в шине оценивалось путем расчета коэффициента гистерезисных потерь:

$$\psi = \frac{S_n}{S_{och}}, \quad (3)$$

где S_n и S_{och} – площадь петли гистерезиса и криволинейного треугольника под петлей гистерезиса при заданном давлении воздуха, в координатах $G_z = f(h_z)$ см^2 .

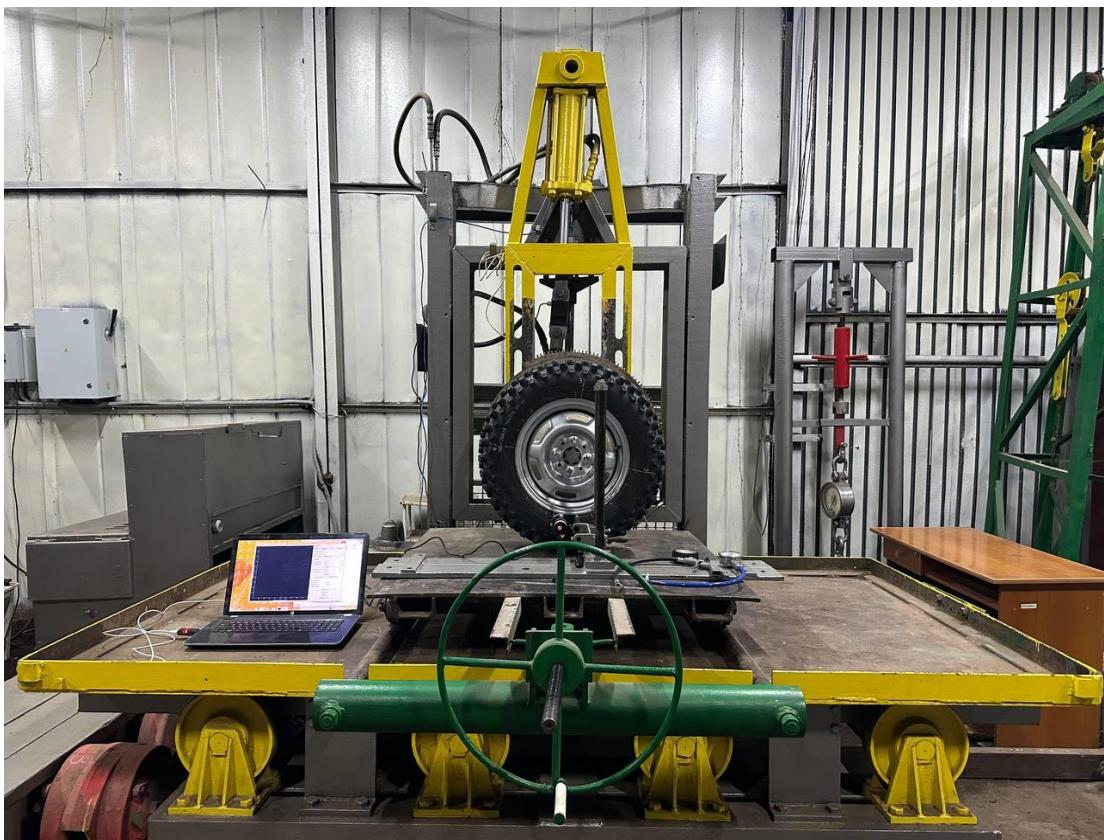


Рисунок 5 – Определение нагрузочной характеристики шины модели НК-11 размерностью 185/70 R13

Аппроксимация экспериментальной зависимости коэффициента гистерезисных потерь от давления воздуха представлялась в виде зависимости:

$$\psi = \psi_0 + \frac{K}{P_w}, \quad (4)$$

где K – постоянный для конкретной шины коэффициент, кПа Ψ_0 – постоянный безразмерный коэффициент, характеризующийся асимптотой к которой стремится гипербола при бесконечном увеличении давления воздуха в шине.

Результаты и обсуждение

Нагрузочная характеристика шины НК-11 определялась двумя способами (рис. 6). При первом способе шина нагружалась вертикальной нагрузкой, определенной по индексу нагрузки шины при трех уровнях давления ($P_w=0.142$ МПа; 0,192 МПа и 0,253 МПа). На каждом из установленных давлений воздуха воспроизводились циклы «нагрузка-разгрузка», а по полученным данным строились петли гистерезиса шины (рис. 7 и рис. 8).

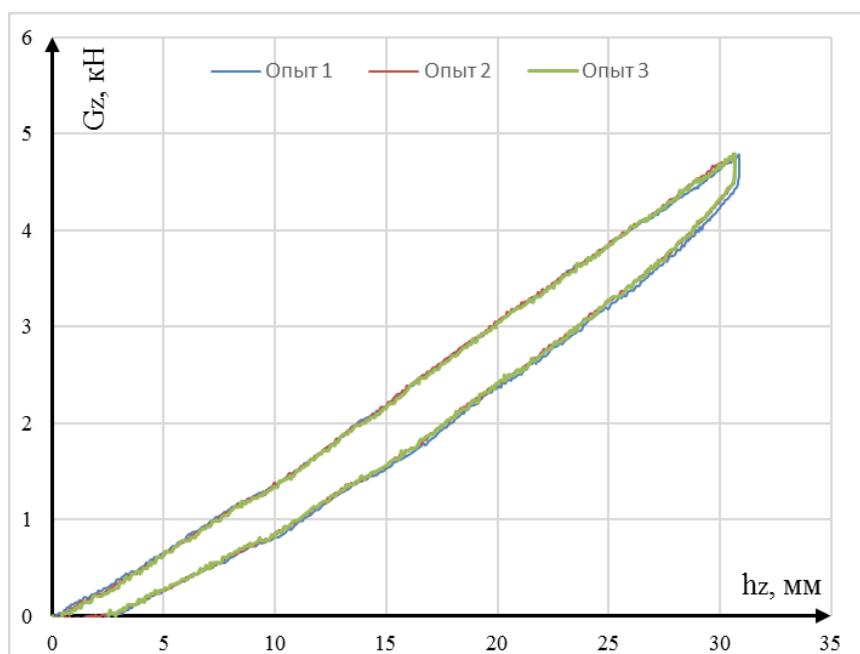


Рисунок 6 – Нагрузочная характеристика шины НК-11 при внутришинном давлении $P_w=0.142$ МПа и $G_z=4.7$ кН

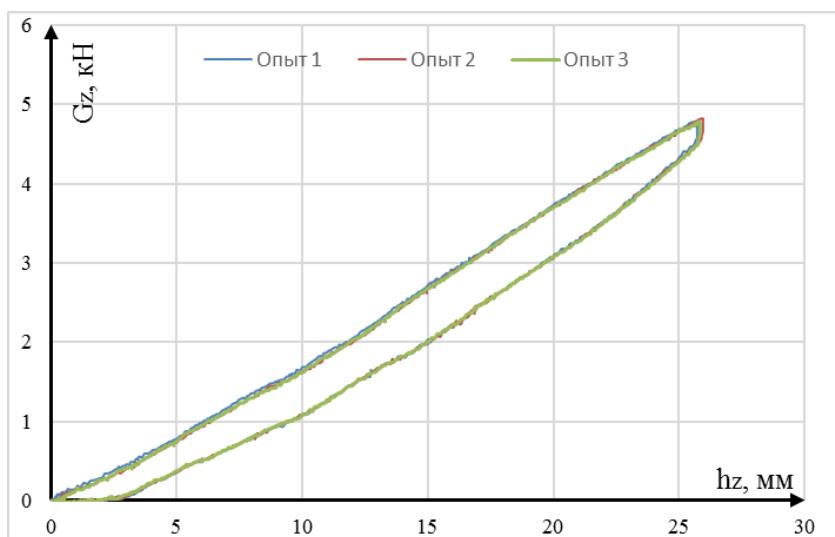


Рисунок 7 – Нагрузочная характеристика шины НК-11 при внутришинном давлении $P_w=0.192$ МПа и $G_z=4.7$ кН

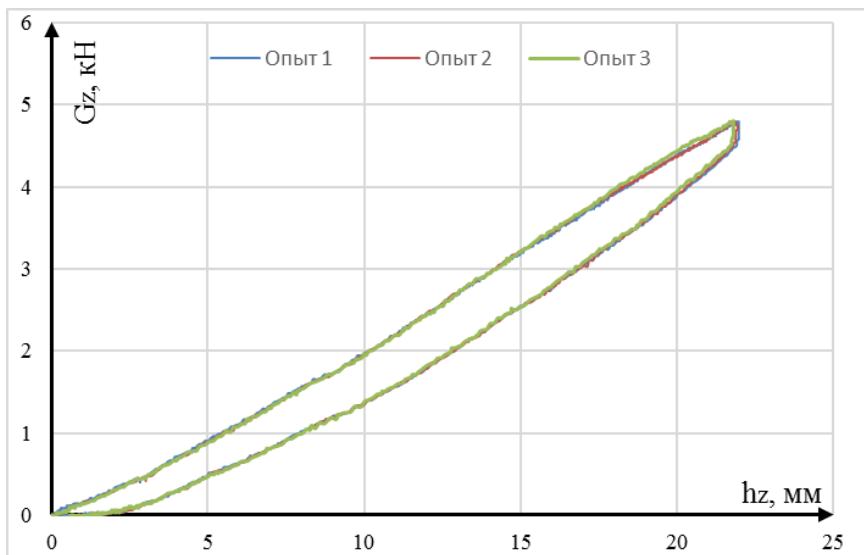


Рисунок 8 – Нагрузочная характеристика шины НК-11
при внутришинном давлении $P_w=0.253$ МПа и $Gz=4.7$ кН

Из полученных графиков видно, что между нагрузкой и радиальной деформацией нет строгой линейной зависимости, а при снижении давления воздуха в шине увеличивается площадь петли гистерезиса и величина остаточной деформации.

Выводы

1. Анализ технических характеристик и условий работы шин спортивных кроссовых автомобилей показал, что шины данной техники функционируют в условиях интенсивных переменных нагрузок, высоких деформаций, ударных воздействий и работы на слабонесущих опорных основаниях. Установлено, что основными требованиями к таким шинам являются высокие тягово-цепные качества и достаточная радиальная жесткость.

2. Разработанная программа и методика проведения испытаний по определению радиальной жесткости обеспечили возможность воспроизведения статических нагрузок и получения нагрузочных характеристик при различных давлениях воздуха. Методика включает последовательное нагружение и разгрузку шины и анализ гистерезисных потерь, что позволяет объективно оценить упругие свойства шины.

3. Анализ упругих характеристик шины Мастер-Спорт НК-11 показал, что зависимость между нагрузкой и радиальной деформацией носит нелинейный характер. С уменьшением давления воздуха в шине с 0,253 МПа до 0,142

МПа уменьшается радиальная жесткость с 233 кН/м до 175 кН/м, возрастает величина остаточной деформации и увеличивается площадь петли гистерезиса, что свидетельствует о росте энергоемкости шины.

4. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при модернизации существующих конструкций спортивных кроссовых автомобилей, а также при проектировании новых образцов техники с учетом реальных упруго-деформационных свойств шин НК-11.

Список литературы

1. Артемьев, И. С. Разработка действующей модели Багги / И. С. Артемьев // Современные достижения молодёжной науки Зауралья : Материалы регионального конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений и научных учреждений Курганской области, Курган, 22 мая 2014 года. – Курган: Курганский государственный университет, 2014. – С. 56. – EDN YJVUOV.
2. Ляпустин, А. С. Исследование классификационных классов кроссовых автомобилей типа "багги" / А. С. Ляпустин // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2022. – № 1. – С. 279-281. – EDN RPNLMG.
3. Хабибуллин, Р. Р. Специальный кроссовый автомобиль-БАГГИ / Р. Р. Хабибуллин, Р. Р. Хабибуллина // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте : Сборник статей IV Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием, Пенза, 14–15 марта 2018 года / Под общей редакцией В.В. Салмина. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2018. – С. 131-135. – EDN UOCEPZ.
4. Клысак, Г. А. Шины и колеса для наземной внедорожной техники / Г. А. Клысак, С. В. Далик, Д. В. Сухоненко // АРКТИКА: инновационные технологии, кадры, туризм : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 19–21 ноября 2018 года / под общ. ред. В. И. Прядкина. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2018. – С. 283-288. – EDN ZBTLHF.
5. Читаев, Т. А. Основная классификация шин и как влияет давление и нагрузка на шины / Т. А. Читаев // Современный взгляд на развитие аграрно-промышленного комплекса : Материалы I Региональной научно-практической конференции студентов СПО, Махачкала, 11 мая 2023 года. – Махачкала: Дагестанский государственный аграрный университет имени Джамбулатова М.М., 2023. – С. 112-118. – EDN ZFGIXD.
6. Томашевский, С. Б. Моделирование автомобильных шин на основе метода конечных элементов / С. Б. Томашевский // Известия МГТУ МАМИ. – 2020. – № 3(45). – С. 65-74. – DOI 10.31992/2074-0530-2020-45-3-65-74. – EDN PFIUNH.
7. Хотько, А. В. Прогнозирование нагрузочных и жесткостных характеристик пневматических шин методами компьютерного моделирования / А. В. Хотько // Механика машин, механизмов и материалов. – 2023. – № 4(65). – С. 85-96. – DOI 10.46864/1995-0470-2023-4-65-85-96. – EDN JWDVOM.
8. Упругие характеристики шины сверхнизкого давления. Вертикальные нагрузки / С. В. Гончаренко, З. А. Годжаев, А. В. Артемов [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2020. – № 8. – С. 18-21. – EDN QBLHSD.

References

1. Artemyev, I. S. Development of the current Buggy model / I. S. Artemyev // Modern achievements of youth science in the Trans-Urals : Materials of the regional competition for the

best scientific work among students, postgraduates and young scientists of higher educational institutions and scientific institutions of the Kurgan region, Kurgan, May 22, 2014. Kurgan: Kurgan State University, 2014, p. 56. EDN YJVUOV.

2. Lyapustin, A. S. A study of classification classes of buggy-type cross-country cars / A. S. Lyapustin // Scientific progress - creativity of the young. – 2022. – No. 1. – pp. 279-281. – EDN RPNLMG.

3. Khabibullin, R. R. Special cross-country BUGGY car / R. R. Khabibullin, R. R. Khabibullina // Innovations of technical solutions in mechanical engineering and transport : Collection of articles of the IV All-Russian Scientific and Technical Conference for young scientists and students with international participation, Penza, March 14-15, 2018 / Under the general editorship of V.V. Salmin. Penza: Penza State Agrarian University, 2018. pp. 131-135. EDN UOCEPZ.

4. Klysak, G. A. Tires and wheels for land-based off-road vehicles / G. A. Klysak, S. V. Dalik, D. V. Sukhonenko // ARCTIC: innovative technologies, personnel, tourism : Materials of the international scientific and practical conference, Voronezh, November 19-21, 2018 / under the general editorship of V. I. Pryadkin. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2018. pp. 283-288. - EDN ZBTLHF.

5. Chitaev, T. A. The basic classification of tires and how tire pressure and load affect tires / T. A. Chitaev // A modern view on the development of the agricultural and industrial complex : Proceedings of the I Regional Scientific and Practical Conference of students of Vocational Education, Makhachkala, May 11, 2023. – Makhachkala: Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, 2023. – pp. 112-118. – EDN ZFGIXD.

6. Tomashevsky, S. B. Modeling of automobile tires based on the finite element method / S. B. Tomashevsky // Izvestiya MGTU MAMI. – 2020. – № 3(45). – Pp. 65-74. – DOI 10.31992/2074-0530-2020-45-3-65-74. – EDN PFIUNH.

7. Khotko, A.V. Forecasting the load and stiffness characteristics of pneumatic tires by computer modeling methods / A.V. Khotko // Mechanics of machines, mechanisms and materials. – 2023. – № 4(65). – Pp. 85-96. – DOI 10.46864/1995-0470-2023-4-65-85-96. – EDN JWDVOM.

8. Elastic characteristics of the ultra-low pressure tire. Vertical loads / S. V. Goncharenko, Z. A. Gojaev, A.V. Artemov [et al.] // Automotive industry. – 2020. – No. 8. – pp. 18-21. – EDN QBLHSD.

Артёмов А.В.

старший преподаватель кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Татаринцев В.Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Сотников Д.А.

студент 4 курса автомобильного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Artemov A.V.

senior lecturer of the department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doktor of technical sciences, professor, department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Tatarintsev V.Yu.

assistant of the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Sotnikov D.A.

4th year student of the Automobile Faculty of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ШИН

APPLICATION OF TECHNICAL VISION SYSTEMS WHEN TESTING TIRES

Аннотация. В работе исследована возможность применения систем технического зрения для бесконтактной регистрации вертикальных перемещений шины при лабораторных испытаниях на стенде СИБ-1М. Видеотрекинг, реализованный в программной среде Kinovea, сравнивался с эталонным датчиком перемещений. Показана высокая согласованность результатов ($r > 0,999$), подтверждающая применимость видеометрии для анализа статических и динамических режимов работы шины.

Abstract. This study evaluates the applicability of machine vision techniques for contactless measurement of the vertical displacement of a tire during laboratory testing on the SIB-1M test bench. Video tracking performed in the Kinovea software environment was compared with data from a reference displacement sensor. The results demonstrate high agreement between the methods ($r > 0.999$), confirming the suitability of videometry for analysing both static and dynamic tire loading modes.

Ключевые слова: системы технического зрения, видеотрекинг, Kinovea, бесконтактные измерения, динамика колеса, испытания шин.

Keywords: machine vision systems, video tracking, Kinovea, contactless measurements, wheel dynamics, tire testing.

Введение

Современные автомобильные шины являются сложными инженерными изделиями, динамические характеристики которых напрямую влияют на безопасность и эффективность транспортного средства. Лабораторные испытания на специализированных стендах позволяют моделировать стационарные и нестационарные режимы работы (переезд неровностей, буксование, качение с уводом) [1].

В традиционных методах регистрации перемещений широко применяются контактные датчики. Несмотря на высокую точность, такие средства часто ограничивают возможности эксперимента: монтаж сенсоров способен влиять на исследуемый процесс, снижать пространственное разрешение и не позволяет фиксировать деформации на удаленных участках покрышки. В этой связи возрастает интерес к бесконтактным методам измерений, основанным на системах технического зрения [2].

Целью настоящей работы является экспериментальная оценка применимости видеотрекинга для измерения вертикальных перемещений шины на стенде СИБ-1М и анализ степени соответствия видеометрических данных показаниям эталонного датчика.

Материалы и методы

Эксперимент проводился на стенде СИБ-1М, моделирующем работу автомобильного колеса под действием вертикальной нагрузки [3]. Колесо с установленной шиной фиксировалось на валу стенда, нагружалось с помощью гидравлического привода и приводилось в движение в различных режимах. Общий вид экспериментальной установки представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фрагмент проведения эксперимента

Видеосъемка выполнялась веб-камерой Logitech C270, расположенной сбоку от шины таким образом, чтобы обеспечить ее полный профильный обзор (рис. 2). В поле зрения камеры помещалась метка известного размера, служащая для калибровки масштаба, что позволяло переводить пиксельные координаты видеорядов в метрические величины [4].

Вideoобработка осуществлялась в программе Kinovea, интерфейс которой представлен на рисунке 3 [5].



Рисунок 2 – Веб камера
LogitechC270

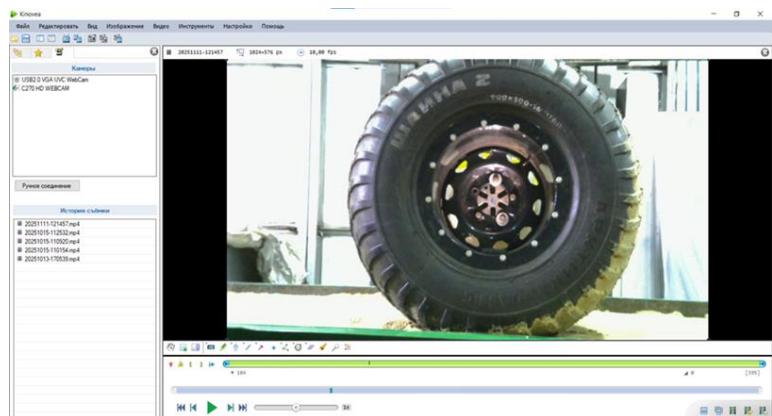


Рисунок 3 – Интерфейс программы

Получение искомых значений перемещения точки на ступице колеса под действием нагрузок на шину осуществлялось согласно схеме, представленной на рисунке 4.

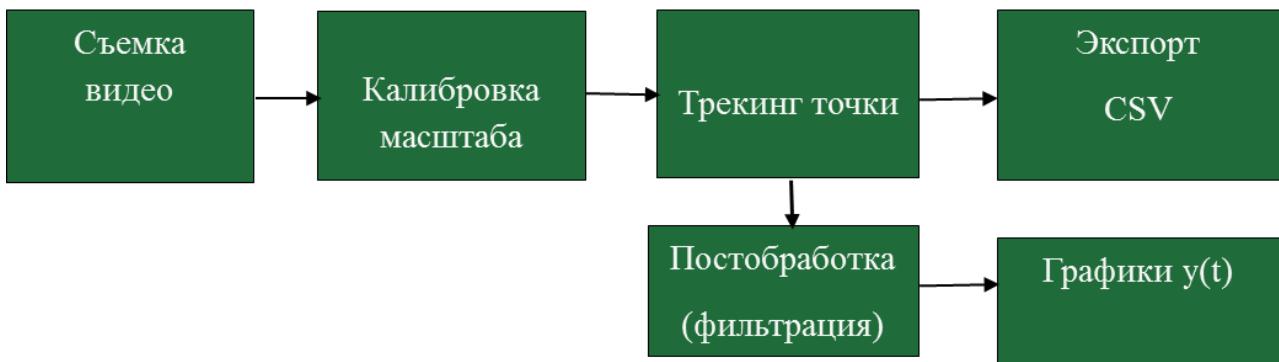


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма проведения эксперимента

На первом этапе выполнялась калибровка масштаба. Далее оператор выбирал реперную точку – центр ступицы либо нанесенный маркер, после чего программа выполняла автоматическое отслеживание ее вертикального перемещения $y(t)$. При

необходимости применялась фильтрация данных для снижения влияния шумов. Затем траектория экспорттировалась в формате CSV для последующего анализа.

Исследуемые режимы включали радиальную обжимку, характеризующуюся пригружением шины до заданного уровня (рис. 5), а также проезд с буксованием – режим с частичной потерей сцепления между шиной и опорной поверхностью (рис. 6) [6]. Оба режима позволяли оценить устойчивость видеотрекинга как при квазистационарных деформациях, так и при быстром изменении состояния шины.



Рисунок 5 – Радиальная обжимка шины



Рисунок 6 – Качение колеса с буксованием

Для проверки достоверности видеометрии результаты сопоставлялись с показаниями реохордного датчика перемещений [7]. Основным критерием оценки точности являлись коэффициент корреляции r между временными зависимостями перемещений, а также среднеквадратическая ошибка RMSE.

Результаты и обсуждение

В режиме радиальной обжимки видеометрия продемонстрировала высокую степень согласованности с эталонным измерительным каналом. Сопоставление графиков вертикальных перемещений (рис. 7) показывает практическое полное совпадение кривых. Коэффициент корреляции составил $r \approx 0,9995$, а среднеквадратическая ошибка – RMSE $\approx 0,096$ мм. Такое значение погрешности находится в пределах допуска для задач анализа деформации шины под статической нагрузкой [8].

В режиме проезда с буксованием наблюдалось увеличение RMSE до $\approx 0,70$ мм при сохранении высокой корреляции ($r \approx 0,9996$) (рис. 8). Данное увеличение связано, прежде всего, с ограниченной частотой кадров веб-камеры, что приводит к сглаживанию быстрых переходных процессов и не позволяет достоверно фиксировать пики вибраций шины. Тем не менее даже в динамическом режиме видеотрекинга

кинг обеспечивает приемлемую точность и корректно воспроизводит общую динамику вертикальных перемещений.



Рисунок 7 – Зависимость вертикального перемещения реперной точки от времени опыта при вертикальной обжимке шины

Визуальный анализ графиков подтверждает практически полное совпадение формы сигналов и отсутствие систематического смещения между методами. Небольшие расхождения наблюдаются в областях высокочастотных колебаний, что соответствует ожидаемым ограничениям бытовой видеокамеры [9].

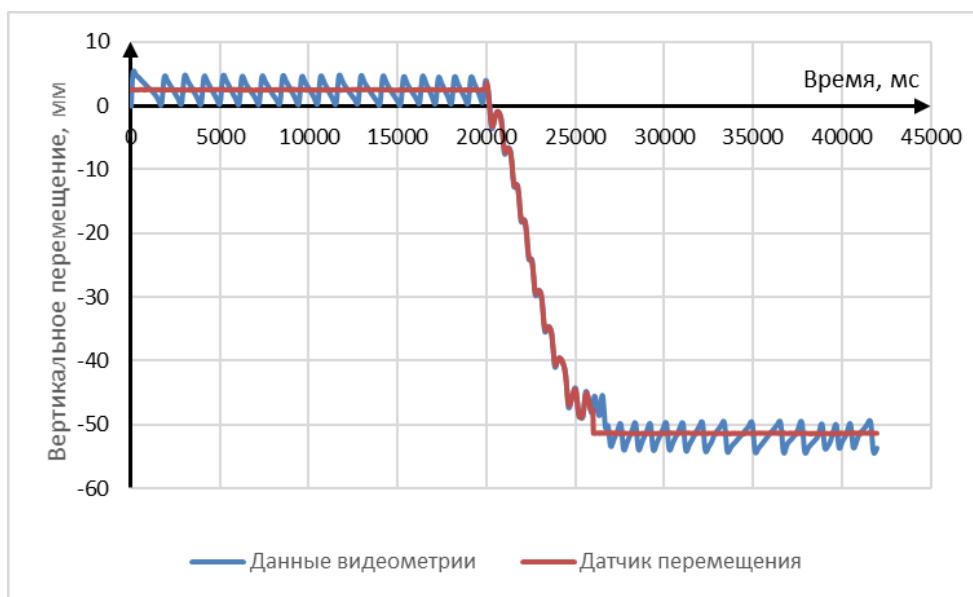


Рисунок 8 – Зависимость вертикального перемещения реперной точки от времени опыта при качении колеса с буксованием

Проведенные исследования показывают, что системы технического зрения способны обеспечить достоверную регистрацию перемещений шины в условиях лабораторных испытаний. Применение недорогой веб-камеры в сочетании с программой Kinovea позволяет обеспечить высокую точность в статических и квазистационарных режимах. В динамических режимах точность ограничивается частотой кадров и отсутствием специализированных алгоритмов стабилизации, однако остается достаточной для анализа основных характеристик отклика шины.

К числу факторов, влияющих на точность, относятся качество освещения, положение камеры, стабильность расположения калибровочной метки и присутствие паразитных вибраций. Эти факторы необходимо учитывать при постановке эксперимента.

Для повышения точности и расширения функциональных возможностей метода целесообразно внедрение высокоскоростных камер USB3 или GigE, обеспечивающих частоту кадров от 120 fps и выше. Дополнительное улучшение устойчивости трекинга может быть достигнуто за счет применения специализированных маркеров ArUco либо AprilTag, а также перехода к собственному программному обеспечению на базе OpenCV [10]. Важным направлением является синхронизация видеоданных с системой АЦП стенда, что позволит проводить комплексный анализ нагрузок, деформаций и перемещений шины в едином временном масштабе.

Выводы

Экспериментальные исследования показали, что видеотрекинг обеспечивает высокую точность регистрации вертикальных перемещений шины при испытаниях на стенде СИБ-1М. Для обоих исследованных режимов были получены коэффициенты корреляции $r > 0,999$ при среднеквадратической ошибке менее 1 мм. Это подтверждает возможность использования систем технического зрения в качестве дополнительного или альтернативного средства измерения в задачах экспериментальной механики шин.

Дальнейшее развитие метода связано с применением более совершенной аппаратуры, повышением частоты кадров и внедрением специализированных алгоритмов компьютерного зрения.

Список литературы

1. Дятлов Е. И. Машинное зрение: аналитический обзор. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-zrenie-analiticheskiy-obzor> (дата обращения: 07.11.2025).

2. Сунь Х., Чжуан С., Костров А. А. и др. Обзор современных систем технического зрения, применяемых в транспортной отрасли. – URL: <https://top-technologies.ru/article/view?id=40150> (дата обращения: 07.11.2025).
3. Годжаев З.А. Упругие характеристики шины сверхнизкого давления. Вертикальные нагрузки / З.А. Годжаев, С.В. Гончаренко, А.В. Артемов, В.И. Прядкин, Т.З. Годжаев // Автомобильная промышленность. – 2020. – №8. – С. 18-21.
4. Шамышев А. А. Определение задачи измерения расстояния до объекта для систем компьютерного зрения с одним объективом. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-zadachi-izmereniiya-rasstoyaniya-do-obekta-dlya-sistem-kompyuternogo-zreniya-s-odnim-obektivom> (дата обращения: 07.11.2025).
5. Техническое зрение в системах управления / под ред. ИКИ РАН. – М.: ИКИ РАН, 2011. – URL: <https://www.iki.rssi.ru/books/2011tz.pdf> (дата обращения: 07.11.2025).
6. Годжаев З.А. Экспериментальная оценка тягово-цепных качеств шины сверхнизкого давления / З.А. Годжаев, С.В. Гончаренко, А.В. Артемов, В.И. Прядкин, Т.З. Годжаев // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – №6. – С. 50-58.
7. Артемов А.В. Оценка увода шины сверхнизкого давления в ведущем режиме / А.В. Артемов, П.А. Колядин, В.И. Прядкин // Материалы МНПК «Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм». – 2020. – № 1(2). – С. 278-283.
8. Licher J. et al. Experimental Investigation of the Tire Wear Process Using a Camera-Based Method with Feature Point Matching. – 2023. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X23007065> (дата обращения: 07.11.2025).
9. Feng M. Q. et al. Non-Contact Vehicle Weigh-in-Motion Using Computer Vision. Measurement, 2020. – URL: <https://nscpolteksby.ac.id/ebook/files/Ebook/Journal%20International/Computer%20Engineering/Measurement/Non-Contact%20vehicle%20Weigh-in-Motion%20using%20computer%20vision%20-%20Volume%20153%2C%201%20March%202020%2C%20107415.pdf> (дата обращения: 07.11.2025).
10. Zhang J. et al. Noncontact Measurement of Tire Deformation Based on Computer Vision and Deep Learning. – 2023. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224123005985> (дата обращения: 07.11.2025).

References

1. Dyatlov, E. I. (2025). Machine Vision: Analytical Review. Retrieved November 7, 2025, from <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-zrenie-analiticheskiy-obzor>
2. Sun, H., Zhuang, S., Kostrov, A., et al. (2025). Review of Modern Vision Systems Used in the Transport Industry. Retrieved November 7, 2025, from <https://top-technologies.ru/article/view?id=40150>
3. Godzhaev, Z. A., Goncharenko, S. V., Artyomov, A. V., Pryadkin, V. I., & Godzhaev, T. Z. (2020). Elastic characteristics of an ultra-low-pressure tire: Vertical loads [Uprugiekharakteristiki shiny sverkhnizkogodavleniya. Vertikalnyenagruzki]. Automotive Industry, (8), 18–21.
4. Shamyshev, A. A. (2025). Determining the Problem of Measuring Distance to an Object for Single-Lens Computer Vision Systems. Retrieved November 7, 2025, from <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-zadachi-izmereniiya-rasstoyaniya-do-obekta-dlya-sistem-kompyuternogo-zreniya-s-odnim-obektivom>
5. Institute for Space Research RAS. (2011). Technical Vision in Control Systems. Moscow: IKI RAN. Retrieved November 7, 2025, from <https://www.iki.rssi.ru/books/2011tz.pdf>
6. Godzhaev, Z. A., Goncharenko, S. V., Artyomov, A. V., Pryadkin, V. I., & Godzhaev, T. Z. (2020). Experimental evaluation of the traction and adhesion properties of an ultra-low-pressure tire [Eksperimentalnayaotsenkatyagovo-stsepnykhkachestv shiny sverkhnizkogodavleniya]. Tractors and Agricultural Machinery, (6), 50–58.

7. Artyomov, A. V., Kolyadin, P. A., & Pryadkin, V. I. (2020). Assessment of slip (lateral deviation) of an ultra-low-pressure tire in driving mode [Otsenka uvida shiny sverkhnizkogodavleniya v vedushchem rezhime]. In Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Arctic: Innovative Technologies, Personnel, Tourism”, 1(2), 278–283.
8. Licher, J., et al. (2023). Experimental Investigation of the Tire Wear Process Using a Camera-Based Method with Feature Point Matching. Retrieved November 7, 2025, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X23007065>
9. Feng, M. Q., et al. (2020). Non-Contact Vehicle Weigh-in-Motion Using Computer Vision. Retrieved November 7, 2025, from <https://nscpolteksby.ac.id/ebook/files/Ebook/Journal%20International/Computer%20Engineering/M easurement/Non-Contact%20vehicle%20Weigh-in-Motion%20using%20computer%20vision%20- %20Volume%20153%2C%201%20March%202020%2C%20107415.pdf>
10. Zhang, J., et al. (2023). Noncontact Measurement of Tire Deformation Based on Computer Vision and Deep Learning. Retrieved November 7, 2025, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224123005985>

Годжаев З. А.

доктор техн. наук, профессор чл-корр. РАН,
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Артёмов А.В.

старший преподаватель кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Годжаев Т.З.

Заведующий сектором кандидат техн. наук,
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, РФ

Godjaev Z.A.

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the Russian Academy
of Sciences, Federal State Budgetary Scientific
Institution «Federal Scientific Agroengineering
Center VIM», Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doktor of technical sciences, professor,
department of cars and service, Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov, Russian Federation

Artemov A.V.

senior lecturer of the department of cars and
service, Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Godzhaev T.Z.

Head of Sector FSAC VIM, Russian Federation

КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ТРАКТОРА КЛАССА 2 С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ СИЛОВЫМ ПРИВОДОМ

THE CONCEPT OF AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CLASS 2 TRACTOR WITH AN ELECTROMECHANICAL POWER DRIVE

Аннотация: В статье сформулирована стратегия развития экологически безопасного трактора класса 2, показана область применения в технологиях земледелия. Приведены основные факторы, влияющие на экологическую безопасность трактора. Показано, что основными факторами, улучшающими на экологическую совместимость трактора класса 2 с почвой является применение колесных движителей на базе шин низкого давления с регулировкой давления воздуха на ходу и применением резино-армированных гусениц.

Abstract: The article formulates a strategy for the development of an environmentally friendly class 2 tractor, and shows the scope of application in agricultural technologies. The main factors affecting the environmental safety of the tractor are given. It is shown that the main factors affecting the environmental compatibility of a Class 2 tractor with soil are the use of low-pressure tire-based wheel thrusters with adjustable air pressure on the move and the use of rubber-reinforced tracks.

Ключевые слова: трактор, мобильные энергетические средства, электромеханическая трансмиссия, шины низкого давления, экологическая безопасность.

Keywords: tractor, mobile energy systems, electromechanical transmission, low-pressure tires, environmental safety.

Введение

Стратегии развития Российской Федерации определены основные направления, среди которых повышение производительности и устойчивости сель-

ского хозяйства, что направлено на реализацию продовольственной безопасности страны. Достижение этой задачи невозможно без разработки отечественных наукоемких технологий возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающих переход к экологичному и высокопродуктивному производству, а также создание передовых образцов мобильно-энергетических средств (МЭС) и сельскохозяйственной техники [1].

Новые вызовы времени ставят перед производителями мобильной тракторной энергетики стратегическую задачу создания нового поколения экологически безопасной техники для обеспечения приоритетных направлений технологий точного земледелия. Экологически безопасная техника должна иметь повышенную единичную мощность, обеспечивающей рост топливной экономичности, комфорт и обеспечить экологической безопасности [2, 3].

Основными факторами воздействия мобильных средств на окружающую среду являются: выбросы отработавших газов; шум, создаваемый трактором при работе; канцерогенная пыль от износа шин, тормозных колодок, фрикционных дисков сцепления; разрушающее воздействие колесных движителей на почвенно-растительный покров [2].

Одним из путей повышение экологической совместимости тракторов (рис. 1) с почвами различной влажности является оборудование колесных движителей шинами низкого и сверхнизкого давления [4, 5, 6].



Рисунок 1 – Колёсный трактор МТЗ-1221 на широкопрофильных шинах низкого давления

Применение гибридной трансмиссии (рис. 2) позволяет снизить удельный расход топлива за счет работы дизеля в экономическом режиме, повышение ресурса дизеля благодаря отсутствию жесткой связи с ходовой частью, снижение динамических нагрузок при изменении скорости агрегата, снижения уровня вредных выбросов дизеля за счет работы в ограниченном частотном диапазоне [7].



Рисунок 2 – Трактор «Беларус-3023» с электромеханической трансмиссией

За рубежом накоплен большой опыт создания применения тяговых электродвигателей и их интеграция с серийно выпускаемыми конечными узлами трансмиссий тракторов (рис. 3).



Рисунок 3 – Ведущие мосты для колёсных тракторов с тяговым электрическим приводом

Обеспечение экологической безопасности эксплуатации мобильных средств предусматривает комплекс мер по совершенствованию конструкции трактора, эффективных способов эксплуатации, инновационных способов утилизации.

Разработка экологически безопасного трактора с электромеханической трансмиссией призвана вывести отечественное сельхозмашиностроение на новый уровень, а также заложить методологические и технические основы для перспективной автономной и цифровой сельскохозяйственной техники.

Цель исследования – разработать концепцию экологически безопасного трактора класса 2 с электромеханическим силовым приводом, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик и комфорта.

Материалы и методы

Параметры трактора определялись по формулам: [8]

$$G_{mp} = \frac{P_{kp,h}}{\lambda_k \varphi_k f_k} N_{h,\vartheta} = \frac{(P_{kp,h} + P_f)v}{\eta_{mp} \eta_e (1 - \delta_h)}$$

где $P_{kp,h}$ – номинальное тяговое усилие, кН; λ_k – коэффициент нагрузки ведущих колес; φ_k – коэффициент сцепления; f_k – коэффициент сопротивления качению; P_f – сила сопротивления качению; v – действительная скорость; η_{mp} – КПД трансмиссии; η_e = КПД гусеничного движителя; δ_h – буксование.

Результаты и обсуждение

Повышение экологической совместимости трактора класса 2 целесообразно путем применения почвоцедящего движителя, а также плавным приложением крутящего момента к движителям. Одним из путей снижения динамической нагруженности трактора в целом, является применение электромеханической трансмиссии (рис. 4). Однако в настоящее время данный тип трансмиссии получил применение на тракторах большой мощности, что обусловлено наличием элементной базы для их производства. Тракторы класса 2 в основном эксплуатируются как универсально-пропашные, при возделывании различных сельскохозяйственных культур с различным междурядьем и при различной влажности почвы. Поэтому, они должны соответствовать агротехническому регламенту по уровню контактных давлений движителя на почву, при этом при-

ложение крутящего момента к движителю должно быть плавным без рывков, что позволит снизить буксование и повысить скорость движения и топливную экономичность. Повышение эффективности использования трактора данного класса может быть достигнуто путем комбинированного агрегатирования. Так установка передней навесной системы позволяет агрегатировать трактор культиватором, а на задней трехточечной навеске устанавливать сеялку, наличие технологической площадки позволяет монтировать емкости для внесения жидких минеральных удобрений. Мобильное энергетическое средство класса 2 позволит за один проход совмещать три технологические операции, при этом уменьшить количество проходов по полю, рационально распределить массу орудий и отказаться от традиционного балластирования передних и задних колес трактора.



Рисунок 4 – Трактор класса 2 с гибридной трансмиссией

Реализация нормативных давлений движителя на почву должна реализовываться сменных типом – колесным и гусеничным. Колесный движитель должен обеспечивать возможность изменения внутри-шинного давления воздуха на ходу (рис. 5), а резиноармированная гусеница должна иметь комбинированный способ передачи тягового усилия.

Применение на данных тракторах электромеханической трансмиссия позволит повысить общую энергоэффективность моторно-трансмиссионной установки, плавность регулирования скорости, снизит буксование движителя, а

также повысит маневренность и точность управления тяговым усилием; кроме того, она позволит снизить уровень шума и вибрации, упростить конструкцию и снизить стоимость обслуживания.



Рисунок 5 – Система регулирования давления воздуха в шинах на ходу

В настоящее время перспективное направление совершенствования трансмиссий мобильных средств является применение электромеханических трансмиссий. Гибридные установки, в которых ДВС питает электродвигатели, повышают КПД, маневренность и снижают уровень шума. В электромеханической трансмиссии вместо сцепления, коробки передач и главной передачи с колесных редукторов установлены генератор на двигателе и тяговые электродвигатели на картерах бортовых передач. Тяговые электродвигатели хорошо приспособлены к нагрузке, изменяющейся в зависимости от режимов работы трактора.

Генератор, в свою очередь, питает три тяговых электродвигателя. Два из них, объединенные с бортовыми редукторами в мотор-редукторы, приводят в движение гусеницы через ведущие колеса, а третий используется для привода вала отбора мощности. Ходовая часть имеет треугольную форму и состоит на

каждый борт из ведущего колеса, направляющего колеса, пяти подпрессоренных опорных катков, двух поддерживающих роликов, одного заднего опорного катка и резиноармированных гусениц.

Для обеспечения МЭС необходимой мощностью в условиях кратковременных перегрузок используется импульсный накопитель энергии. Это устройство позволяет силовой передаче справляться с пиковыми режимами и снижает требуемую эксплуатационную мощность двигателя внутреннего сгорания.

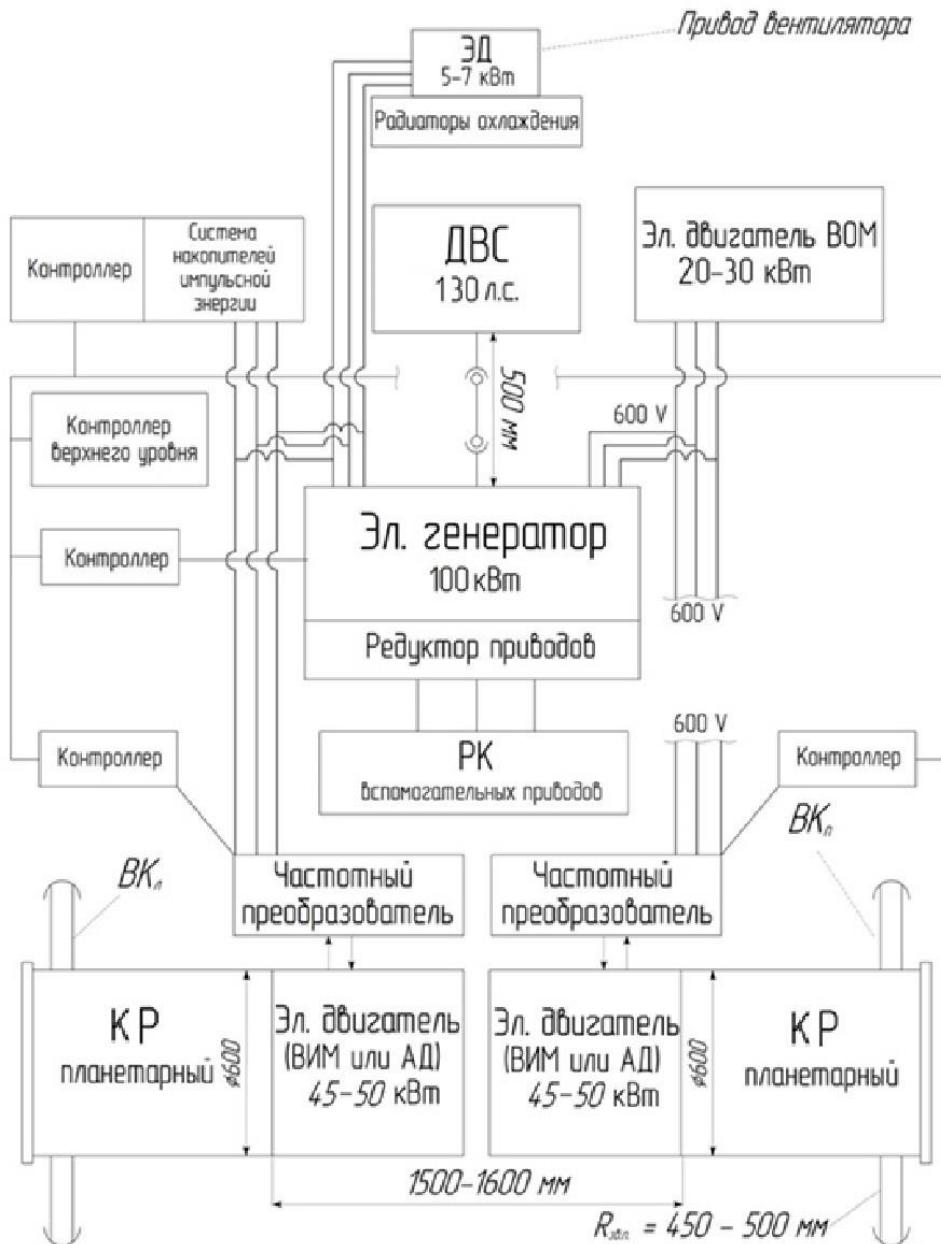


Рисунок 6 – Принципиальная схемы гусеничного трактора класса 2
с электромеханической трансмиссией

Применение электромеханической трансмиссии в тракторостроении является перспективным направлением. Применение на тракторе класса 2 почво-

щадящего движителя с системой регулирования давления воздуха на ходу и электромеханической трансмиссии позволяет обеспечить высокую экологическую безопасность трактору класса тяги 2.

Выводы

1. Разработка экологически безопасного трактора с электромеханической трансмиссией призвана вывести отечественное сельхозмашиностроение новый уровень, а также заложить методологические и технические основы для перспективной автономной и цифровой сельскохозяйственной техники.
2. Экологически безопасный трактор с электромеханической трансмиссией представляет собой новое поколение мобильных энергетических средств и должен занять нишу в типаже тракторов отечественного производства.

Список литературы

1. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года (распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 г. № 2567-р)
2. Годжаев З.А., Аврамов Д.В., Мартынов Н.В., Белоусов Б.Н., Добромиров В.Н. Экологическая безопасность транспортно-технологических средств // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т.13. №2 – С.40-47.
3. Русанов В. А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.
4. Проблема воздействия на почву ходовых систем мобильных энергосредств и эффективные пути решения / Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Русанов А.В., Прядкин В.И. // Инновац. развитие АПК России на базе интеллектуал. машин. технологий / Всерос. науч.-исслед. ин-т механизации сел. хоз-ва. - Москва, 2014. - С. 327-329. - Библиогр.: с.329. Шифр 14-12792 // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2015. – №. 3. – Р. 676. – EDN UHUKGB.
5. Прядкин В.И. и др. Транспортно-технологические средства на шинах сверхнизкого давления / В.И. Прядкин, В.Я. Шапиро, З.А. Годжаев, С.В. Гончаренко ; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2019. – 492 с.
6. Прядкин, В. И. Агротехническая проходимость энергосредств по почвам с низкой несущей способностью / В. И. Прядкин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 4. – С. 34-37.
7. Кулаков А.Т., Макушин А.А. Разработка алтайского трактора в варианте с электромеханической трансмиссией / А.Т. Кулаков, А.А. Макушин // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 2 – С. 3-5.
8. Гуськов, В. В. Тракторы / В. В. Гуськов. – М. : Машиностроение, 1988. – 376 с.

References

1. Strategy for the development of the agro-industrial and fisheries complexes of the Russian Federation for the period up to 2030 (Decree of the Government of the Russian Federation dated September 8, 2022 No. 2567-r)

2. Gojaev Z.A., Avramov D.V., Martynov N.V., Belousov B.N., Dobromirov V.N. Environmental safety of transport and technological facilities // Agricultural machinery and technologies. 2019. Vol.13. No. 2 – pp.40-47.
3. Rusanov V. A. The problem of soil compaction by propellants and effective ways to solve it – M.: VIM, 1998. – 368 p.
4. Gojaev Z.A., Shevtsov V.G., Rusanov A.V., Pryadkin V.I. The problem of impact on the soil of running systems of mobile energy facilities and effective solutions // Innovats. development of the Russian agro-industrial complex on the basis of intellectual. of cars. technologies / All-Russian Scientific research Institute of Agricultural Mechanization. - Moscow, 2014. - pp. 327-329. - Bibliogr.: pp.329. Cipher 14-12792 // Engineering and technical support of the agro-industrial complex. Abstract journal. – 2015. – No. 3. – P. 676. – EDN UHUKGB.
5. Pryadkin V.I. and others. Transport and technological means on ultra-low pressure tires / V.I. Pryadkin, V.Ya. Shapiro, Z.A. Gojaev, S.V. Goncharenko ; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, VGLTU. Voronezh, 2019. 492 p. (in Russian)
6. Pryadkin, V. I. Agrotechnical permeability of energy facilities on soils with low bearing capacity / V. I. Pryadkin // Agricultural machinery and technologies. - 2013. – No. 4. – pp. 34-37.
7. Kulakov A.T., Makushin A.A. Development of the Altai tractor in a variant with an electromechanical transmission / A.T. Kulakov, A.A. Makushin // Tractors and agricultural machinery. – 2011. – No. 2 – pp. 3-5.
8. Guskov, V. V. Tractors / V. V. Guskov. – M. : Mashinostroenie, 1988. – 376 p.

Жайворонок Д.А.

кандидат техн. наук, доцент, кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Бухтояров В.Н.

кандидат техн. наук, доцент, кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Голев А.Д.

кандидат техн. наук, доцент, кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Швырев А.Н.

кандидат техн. наук, доцент, кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Zhaivoronok D.A.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Production, Repair and Operation of Machinery, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Bukhtoyarov V.N.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Production, Repair and Operation of Machinery, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Golev A.D.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Production, Repair and Operation of Machinery, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Shvyrev A.N.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Production, Repair and Operation of Machinery, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В УПРАВЛЕНИИ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ АГРЕГАТАМИ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE CONTROL OF ROBOTIC UNITS OF CARS AND TRACTORS

Аннотация. Статья посвящена роли технологий искусственного интеллекта (ИИ) в управлении роботизированными агрегатами автомобилей и сельскохозяйственной техники. Рассматривается ключевое отличие интеллектуальных систем, основанных на машинном обучении и компьютерном зрении, от традиционной автоматики. В статье описаны основные сферы применения ИИ: от систем автономного вождения и активной безопасности автомобилей до полностью автономных тракторов и роботизированных комплексов уборки урожая. Также в статье затрагиваются актуальные вопросы, связанные с внедрением данной технологии, включая вопросы безопасности, киберзащиты и этики, и определяются перспективы развития отрасли.

Abstract. The article is devoted to the role of artificial intelligence (AI) technologies in controlling robotic units of cars and agricultural machinery. The key difference between intelligent systems based on machine learning and computer vision from traditional automation is considered. The article describes the main areas of AI application: from autonomous driving systems and active vehicle safety to fully autonomous tractors and robotic harvesting systems. The article also addresses

current issues related to the implementation of this technology, including security, cyber defense, and ethics, and identifies the industry's development prospects.

Ключевые слова: искусственный интеллект, роботизированные агрегаты, автономное вождение, автономные тракторы, машинное обучение, компьютерное зрение, системы активной безопасности, большие данные, лидар, прецизионная агротехника.

Keywords: artificial intelligence, robotic aggregates, autonomous driving, autonomous tractors, machine learning, computer vision, active safety systems, big data, lidar, precision agricultural machinery.

Современная автомобильная и сельскохозяйственная отрасли переживают фундаментальную трансформацию, движимую стремительным развитием искусственного интеллекта (ИИ). Если ранее автоматизация касалась в основном отдельных процессов, то сегодня ИИ становится «мозгом», способным полностью взять на себя управление сложными роботизированными агрегатами. Это открывает путь к созданию полностью автономных транспортных средств и сельскохозяйственных машин, работающих с беспрецедентной точностью и эффективностью [1].

Традиционная автоматизация работает по жестко заданным алгоритмам. Робот выполняет действие «А», если выполняется условие «Б». ИИ кардинально меняет эту парадигму. Благодаря машинному обучению и компьютерному зрению, системы на основе ИИ способны:

1. Анализировать неструктурированные данные в реальном времени (видеопоток, показания лидаров, радаров, сенсоров).
2. Самообучаться на основе accumulated experience, адаптируясь к изменяющимся условиям.
3. Принимать прогностические решения, предвосхищая развитие ситуации на дороге или в поле.

Сфера применения ИИ в роботизированных агрегатах

Внедрение ИИ наиболее эффективно в следующих ключевых узлах и системах (таблица).

Таблица – Применение ИИ в управлении агрегатами автомобилей и тракторов

Роботизированный агрегат / Система	Роль и задачи ИИ	Преимущества внедрения
Автономное вождение автомобиля	Обработка данных с камер, лидаров и радаров; построение 3D-карты окружения; распознавание объектов (пешеходы, знаки, другие ТС); прогнозирование траекторий движения; планирование безопасного маршрута.	Повышение безопасности, снижение аварийности, комфорт для пассажиров, возможность использования транспортных средств в качестве роботакси.

Роботизированный агрегат / Система	Роль и задачи ИИ	Преимущества внедрения
Адаптивный круиз-контроль и система экстренного торможения	Не просто поддержание дистанции, а анализ поведения впереди идущего и соседних автомобилей, предсказание «резких» маневров, учет дорожных условий (скользкое покрытие).	Снижение нагрузки на водителя, предотвращение цепных аварий, плавность хода.
Роботизированная трансмиссия	Анализ стиля вождения, рельефа местности, дорожной ситуации для выбора оптимального момента и скорости переключения передач.	Повышение топливной экономичности, снижение износа деталей, улучшение динамики.
Системы активной безопасности (ESP, ABS)	Интеллектуальное определение степени вмешательства на основе анализа сценария заноса или потери сцепления, а не по заранее заданным порогам.	Более эффективная стабилизация автомобиля в нештатных ситуациях.
Автономные тракторы и сельхозмашины	Компьютерное зрение для распознавания культур, сорняков и вредителей; точное вождение по полю с учетом его геометрии; автоматическое управление навесным оборудованием (сейлка, опрыскиватель).	Высокая точность работ (исключение «двойного сева»), экономия ГСМ и семян, точечное внесение удобрений и пестицидов, работа 24/7.
Роботизированные системы уборки урожая	Распознавание степени зрелости плода, определение его местоположения, планирование траектории захвата манипулятором без повреждения продукта.	Решение проблемы нехватки рабочей силы, повышение скорости и аккуратности сбора урожая.

Несмотря на очевидные преимущества, широкое внедрение ИИ сталкивается с рядом вызовов:

1. Вычислительная мощность. Обработка огромных массивов данных в реальном времени требует мощных и энергоэффективных процессоров.
2. Безопасность и надежность. Необходимо гарантировать безошибочную работу ИИ в любых, даже самых нештатных ситуациях. Вопрос ответственности при авариях с участием автономных систем остается открытым.
3. Кибербезопасность. Интеллектуальные системы становятся потенциальной мишенью для хакерских атак.
4. Этические дилеммы: Как должен поступить ИИ в ситуации неизбежного ДТП? Эти алгоритмы требуют тщательной проработки.

Рассмотрим реальные и уже работающие примеры применения ИИ в управлении роботизированными агрегатами автомобилей и тракторов, с разбивкой по сферам [2].

- Автомобили (легковые и грузовые). Здесь ИИ выходит далеко за рамки простой автоматизации, превращаясь в «мозг», который анализирует сложные ситуации и принимает решения.

а) Автономное вождение (уровни 2–4+). Это самый комплексный пример, где ИИ управляет всеми агрегатами одновременно.

1. Компьютерное зрение (Computer Vision): Нейросети в реальном времени анализируют поток данных с камер, лидаров и радаров. Они не просто «видят» объекты, а классифицируют их (пешеход, автомобиль, знак, светофор) и предсказывают их поведение (пешеход вот-вот шагнет на дорогу). Система Autopilot (Tesla), Drive Pilot (Mercedes-Benz), Waymo. ИИ принимает решение: «Объект впереди — грузовик, он движется медленнее нас. Безопасная полоса слева свободна. Посылаю команды: рулевое управление — плавный маневр перестройки, двигатель — поддержание скорости, тормоза — готовы к работе».

2. Планирование траектории (Path Planning): ИИ не просто едет по полосе. Он строит оптимальную и безопасную траекторию, учитывая дорожную ситуацию, правила и поведение других участников движения. При перестроении в плотном потоке ИИ не делает резких движений. Он рассчитывает траекторию, которая будет комфортной и предсказуемой для других водителей, и плавно управляет рулевым механизмом и дроссельной заслонкой.

б) Парковка и маневрирование. При осуществления автоматической парковки, ИИ управляет рулевым управлением, коробкой передач, газом и тормозами для точного позиционирования автомобиля в ограниченном пространстве. Водитель активирует систему, ИИ с помощью датчиков сканирует парковочное место, вычисляет серию маневров (сколько раз и на какой угол вывернуть колеса, когда сдаться назад, когда вперед) и точно исполняет их, часто лучше, чем человек.

в) Адаптивные системы помощи (ADAS).

1. Адаптивный круиз-контроль (ACC): Простой круиз-контроль просто держал скорость. ИИ в ACC анализирует скорость впереди идущего автомобиля и плавно регулирует газ и тормоз, чтобы сохранять безопасную дистанцию, даже если поток постоянно меняется.

2. Аварийное торможение (AEB): ИИ не просто фиксирует препятствие, а за доли секунды оценивает его скорость, траекторию и вероятность столкновения. Если риск высок, а водитель не реагирует, система самостоятельно задействует тормозную систему с максимальным усилием.

- Сельскохозяйственная техника (Тракторы, Комбайны, Опрыскиватели).

В агробизнесе ИИ революционизирует процессы, делая их точными, эффективными и менее затратными.

а) Автономные тракторы и комбайны. Компании like John Deere, AGCO (Fendt) уже демонстрируют полностью автономные тракторы. Оператор задает границы поля на карте. ИИ с помощью GPS и компьютерного зрения управляет рулевым управлением, оборотами двигателя и навесным оборудованием (плугом, сеялкой). Трактор сам едет по оптимальной траектории, делая идеально ровные параллельные проходы без перекрытий и пропусков, экономя топливо и семена. Преодоление препятствий: ИИ анализирует данные с камер и при обнаружении неожиданного препятствия (животное, человек) останавливает технику и посыпает оповещение оператору.

б) Системы точного земледелия (Precision Farming). Это не просто автоматическое вождение, а интеллектуальное управление агрегатами на основе данных.

1. Интеллектуальное опрыскивание (AI-assisted Spraying). Система See & Spray (John Deere). Камеры на штанге опрыскивателя в реальном времени передают изображение ИИ. Нейросеть отличает культурное растение от сорняка. Система точечно, только по сорнякам, включает форсунки, управляя подачей гербицида. Это снижает расход химикатов на до 90%.

2. Адаптивное внесение удобрений: ИИ анализирует данные о состоянии почвы (полученные с датчиков или карт) и в реальном времени регулирует дозировку и состав удобрений, подаваемых через разбрасыватель, для каждого конкретного участка поля [3].

в) Уборка урожая (AI-powered Harvesting). Роботизированные комбайны для уборки салата или фруктов. Система компьютерного зрения определяет степень зрелости плода по цвету, размеру и форме. Другой ИИ управляет манипулятором (роборукой) с режущим элементом или захватом, чтобы аккуратно срезать или сорвать именно спелый плод, не повреждая его и растение.

В основе этих прорывов лежат конкретные технологии:

- Глубокое обучение (Deep Learning) и Сверточные нейронные сети (CNN): Для распознавания образов (объекты, сорняки, спелые плоды).

- Машинное обучение (Machine Learning): Для прогнозирования поведения, оптимизации маршрутов и адаптации к изменяющимся условиям.

- Обработка естественного языка (NLP): Для голосового управления оператором («Трактор, остановись»).

- Рейнфорсмент обучение (Reinforcement Learning): Для «самообучения» систем в симуляторах, где ИИ методом проб и ошибок находит самые эффективные стратегии управления.

Таким образом, ИИ превращает роботизированные агрегаты из простых исполнителей команд в самостоятельные, «видящие» и «думающие» системы, способные решать комплексные задачи как на дороге, так и в поле [4].

Искусственный интеллект перестал быть технологией будущего для автомобильной и аграрной отраслей – он уже здесь. От систем-помощников водителя до полностью автономных тракторов, ИИ кардинально повышает безопасность, эффективность и рентабельность управления роботизированными агрегатами. Дальнейшее развитие этой технологии, несмотря на существующие барьеры, неизбежно ведет к созданию нового ландшафта транспорта и сельского хозяйства, где машины будут работать автономно, освобождая человека для решения более стратегических задач.

Список литературы

1. Сафонов, К. В. Искусственный интеллект и нейронные сети в системах управления транспортными средствами. — М.: Техносфера, 2021. — 356 с.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning. — MIT Press, 2016. — 800 р. (Классическая книга по основам глубокого обучения).
3. Гупта, Л., Тангалам, П. Системы автономного вождения: компьютерное зрение и управление роботами. — Долгопрудный: Интеллект, 2022. — 412 с.
4. Жайворонок, Д. А. Повышение качества обмена информацией абонентов автотранспортной инфраструктуры / Д. А. Жайворонок, И. В. Терехина, Ф. А. Шакина // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте : Материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Воронеж, 17–18 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 145-150. – DOI 10.58168/DPIITT2024_145-150. – EDN CRNGCH.

References

1. Safonov, K. V. Artificial intelligence and neural networks in vehicle control systems. Moscow: Technosphere, 2021. 356 p.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning. — MIT Press, 2016. — 800 p. (A classic book on the basics of deep learning).
3. Gupta, L., Thangavalam, P. Autonomous driving systems: computer vision and robot control. — Dolgoprudny: Intellect, 2022. — 412 p.
4. Zhaivoronok, D. A. Improving the quality of information exchange among subscribers of the motor transport infrastructure / D. A. Zhaivoronok, I. V. Terekhina, F. A. Shakina // Development prospects, innovations and information technologies in transport : Proceedings of the International Youth Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 17-18, 2024. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2024. pp. 145-150. – DOI 10.58168/DPIITT2024_145-150. – EDN CRNGCH.

Жайворонок Д.А.

кандидат техн. наук, доцент, кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Шакина Ф.А.

преподаватель кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Крухмалев С.Н.

преподаватель кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Zhaivoronok D.A.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Production, Repair and Operation of Machinery, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Shakina F.A.

lecturer at the Department of Production, Repair and Operation of Machinery, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Krukhmalev S.N.

lecturer at the Department of Production, Repair and Operation of Machinery, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРО-ТОПЛИВА В КОНТЕКСТЕ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА

PROSPECTS FOR THE USE OF SYNTHETIC ELECTRIC FUELS IN THE CONTEXT OF DECARBONIZATION OF TRANSPORT

Аннотация. В статье рассматривается роль синтетического электротоплива (e-Fuels) в глобальном процессе декарбонизации транспортного сектора. Проанализированы технологические основы производства, потенциальные преимущества и основные проблемы, сдерживающие массовое внедрение. Проведено сравнение e-Fuels с аккумуляторными электромобилями и водородными топливными элементами по ключевым критериям, таким как углеродный след, энергоэффективность и применимость в различных видах транспорта. Сделан вывод о нишевой, но критически важной роли синтетического топлива для трудноэлектрифицируемых сегментов.

Abstract. The article examines the role of synthetic electric fuels (e-Fuels) in the global decarbonization of the transport sector. The technological foundations of production, potential advantages and main problems hindering mass adoption are analyzed. E-Fuels are compared with battery electric vehicles and hydrogen fuel cells according to key criteria such as carbon footprint, energy efficiency and applicability in various modes of transport. The conclusion is made about the niche but critically important role of synthetic fuels for difficult-to-electrify segments.

Ключевые слова: синтетическое электротопливо, E-Fuels, декарбонизация транспорта, углеродная нейтральность, возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Keywords: synthetic electric fuels, E-Fuels, transportation decarbonization, carbon neutrality, renewable energy sources (RES).

Глобальная задача по достижению углеродной нейтральности к середине XXI века требует радикальной трансформации транспортной отрасли, являющейся одним из основных источников парниковых газов. Доминирующим трендом последнего десятилетия стала стремительная электрификация легкового автотранспорта на основе аккумуляторных батарей (BEV – Battery Electric Vehicles). Однако, существуют сегменты, где прямая электрификация сопряжена с существенными технологическими и экономическими трудностями [1]. Речь идет о авиационном, морском и грузовом автомобильном транспорте, где требования к энергоемкости топлива и времени заправки крайне высоки.

В этом контексте синтетическое электротопливо (e-Fuels) рассматривается как потенциальное решение, способное совместить преимущества жидкого углеводородов с принципами углеродной нейтральности. В данной статье проводится оценка реальной перспективы и места e-Fuels в будущей низкоуглеродной транспортной системе [2].

Синтетическое электротопливо – это жидкое или газообразное топливо, получаемое с использованием возобновляемой электроэнергии. Его производство основано на процессе, обратном сгоранию, и состоит из нескольких основных этапов:

1 Производство «зеленого» водорода. Методом электролиза воды с использованием электроэнергии из возобновляемых источников (ВИЭ) – солнца, ветра – производится водород (H_2). Этот этап является энергоемким, но критически важным для обеспечения нулевого углеродного следа на старте цепочки.

2 Улавливание диоксида углерода (CO_2). Углеродная компонента для топлива извлекается непосредственно из атмосферного воздуха (технологии DAC – Direct Air Capture) или из промышленных выбросов.

3 Синтез. На заключительном этапе водород и диоксид углерода вступают в химическую реакцию синтеза (например, процесс Фишера-Тропша), в результате которой образуются жидкие углеводороды – синтетическая нефть, которая далее перерабатывается в бензин, дизельное топливо, керосин или метanol.

Принцип углеродной нейтральности заключается в том, что CO_2 , выделяющийся при сгорании e-Fuels в двигателе, ранее был изъят из атмосферы для его производства [3]. Таким образом, в идеальном сценарии создается замкнутый углеродный цикл, не увеличивающий концентрацию CO_2 в атмосфере.

Основные преимущества e-Fuels делают их особенно привлекательными для конкретных транспортных сегментов:

1 Совместимость с существующей инфраструктурой. E-Fuels могут использоваться в стандартных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) и распределяться через существующие сети АЗС, трубопроводов и танкеров. Это устраивает необходимость в триллионных инвестициях в полную замену инфраструктуры.

2 Высокая энергоемкость. Как и традиционные углеводороды, синтетическое топливо обладает высокой удельной энергоемкостью (на единицу массы/объема), что является ключевым требованием для авиации и судоходства, где вес и объем топлива, напрямую влияют на коммерческую эффективность [4].

3 Удобство хранения и транспортировки. Жидкое топливо может храниться в резервуарах длительное время и перевозиться с минимальными потерями, что решает проблему сезонного характера некоторых ВИЭ.

4 «Зеленый» апгрейд действующего парка. E-Fuels рассматриваются как инструмент декарбонизации для уже находящихся в эксплуатации сотен миллионов автомобилей с ДВС, продлевая их жизненный цикл в новых экологических реалиях [5].

Перспективные области применения:

1 Авиация (Sustainable Aviation Fuels – SAF): Синтетический авиакеросин – один из немногих реалистичных путей декарбонизации дальнемагистральных перелетов.

2 Морской транспорт: Синтетический метanol и дизельное топливо для судоходства.

3 Грузовой автомобильный транспорт: Для магистральных перевозок, где большая масса и стоимость тяговых батарей делают BEV менее выгодными.

4 Спецтехника (машинах и оборудовании, которые работают в условиях, где электрификация крайне затруднена или невозможна).

Несмотря на потенциал, массовому внедрению e-Fuels препятствует ряд серьезных проблем:

1 Крайне низкая энергоэффективность. По полной цепочке «ВИЭ→e-Fuels→ДВС» КПД составляет всего 10–20%. Это означает, что большая часть дорогостоящей возобновляемой энергии тратится впустую на каждом этапе преобразования. Для сравнения, КПД цепи «ВИЭ→АКБ→электромотор» превышает 70–80% [6].

2 Высокая стоимость производства. На сегодняшний день производство e-Fuels в 3–5 раз дороже, чем производство ископаемого топлива, и значитель-

но дороже, чем электрическая тяга для транспорта. Снижение стоимости зависит от резкого удешевления электролизеров и энергии ВИЭ.

3 Ограничность ресурсов «зеленой» энергии. Для масштабного производства e-Fuels потребуется колоссальное количество возобновляемой электроэнергии [7]. В условиях, когда эта же энергия нужна для прямой электрификации других секторов экономики, возникает вопрос о рациональном распределении ресурсов.

4 Неполная углеродная нейтральность. На практике выбросы возникают на всех этапах: при производстве оборудования для ВИЭ, улавливании CO₂, транспортировке. Полная нейтральность достижима только в идеализированной модели (таблица).

Таблица – Сравнительная характеристика перспективных экологичных двигателей и энергоносителей

Критерий	Аккумуляторные электромобили (BEV)	Водород на топливных элементах (FCEV)	Синтетическое топливо (e-Fuels)
Область применения	Легковой транспорт, городские автобусы, легкие коммерческие автомобили	Грузовики, автобусы, коммерческий транспорт	Авиация, судоходство, грузовой транспорт, спецтехника
Энергоэффективность (полная цепь)	Высокая (70–80%)	Низкая (25–35%)	Крайне низкая (10–20%)
Заправочная инфраструктура	Требует масштабного строительства зарядных станций	Требует создания дорогостоящей сети заправки водородом	Использует существующую инфраструктуру
Время заправки / зарядки	Высокое (минуты-часы)	Низкое (3–5 минут)	Низкое (3–5 минут)
Углеродный след	Нулевой на выхлопе, зависит от способа генерации электроэнергии	Нулевой на выхлопе (вода), зависит от способа производства H ₂	Условно-нейтральный на полном цикле
Ключевой барьер	Стоимость и ресурсы для батарей, емкость, скорость зарядки	Стоимость производства H ₂ и инфраструктура	Крайне высокая стоимость и низкий КПД

Синтетическое электротопливо не является универсальным или наиболее эффективным решением для декарбонизации всего транспорта. Его ниша опре-

деляется не конкуренцией с аккумуляторными технологиями в легковом сегменте, а заполнением тех областей, где прямая электрификация на сегодняшний день технологически или экономически нецелесообразна.

Перспективы e-Fuels напрямую зависят от глобального прогресса в двух направлениях: резкого снижения стоимости возобновляемой электроэнергии и совершенствования технологий улавливания CO₂. Государственная поддержка в виде углеродного налога, квот на использование SAF в авиации и инвестиций в НИОКР будет ключевым драйвером для развития этой отрасли [8].

Таким образом, в будущей низкоуглеродной транспортной системе e-Fuels займут стратегически важную, но дополняющую роль, обеспечив экологическую устойчивость тех сегментов мобильности, которые невозможно перевести на прямую электрификацию, сохранив при этом гибкость и надежность, предоставляемые жидким топливом.

Список литературы

1. IEA (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. – International Energy Agency. – URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (дата обращения: 17.10.2023).
2. Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnaichner, A. et al. (2021). Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. *Nature Climate Change*, Vol. 11, P. 384–393. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01032-7> (дата обращения: 17.10.2023).
3. Gray, N., McDonagh, S., O’Shea, R. et al. (2021). Decarbonising ship propulsion with alternative fuels. *Nature Energy*, Vol. 6, P. 1137–1143. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00935-1> (дата обращения: 17.10.2023).
4. Громов, Н.В., Терентьев, А.С. (2022). Синтетические углеводородные топлива как элемент декарбонизации энергетики и транспорта. *Энергетическая политика*, № 5(183), С. 44–57.
5. Белов, П.С., Козлов, Д.А. (2023). Технико-экономический анализ производства и применения электротоплив (e-Fuels). *Альтернативная энергетика и экология*, № 1-3, С. 60–75.
6. Features of radio communication organization in lugging areas / D. Zhaivoronok, A. Novikov, I. Terehina, F. Shakina // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04020. – DOI 10.1051/bioconf/202414504020. – EDN JHZYQC.
7. Directive (EU) 2023/... of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (Recast). – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023L2413> (дата обращения: 17.10.2023).
8. Дорохин, С. В. Организации радиосвязи с удаленными подвижными наземными объектами / С. В. Дорохин, В. А. Иванников, Д. А. Жайворонок // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12, № 4(47). – DOI 10.26102/2310-6018/2024.47.4.028. – EDN DHXOLK.

References

1. IEA (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. – International Energy Agency. – URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (date of request: 17.10.2023).
2. Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnaichner, A. et al. (2021). Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. *Nature Climate Change*, Vol. 11, pp. 384-393. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01032-7> (date of request: 17.10.2023).
3. Gray, N., McDonagh, S., O'Shea, R. et al. (2021). Decarbonising ship propulsion with alternative fuels. *Nature Energy*, Vol. 6, pp. 1137-1143. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00935-1> (date of request: 10/17/2023).
4. Gromov, N.V., Terentyev, A.S. (2022). Synthetic hydrocarbon fuels as an element of decarbonization of energy and transport. *Energy Policy*, No. 5(183), pp. 44-57.
5. Belov, P.S., Kozlov, D.A. (2023). Technical and economic analysis of the production and application of electric fuels (e-Fuels). *Alternative Energy and Ecology*, No. 1-3, pp. 60-75.
6. Features of radio communication organization in lugging areas / D. Zhaivoronok, A. Novikov, I. Terehina, F. Shakina // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04020. – DOI 10.1051/bioconf/202414504020. – EDN JHZYQC.
7. Directive (EU) 2023/... of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (Recast). – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023L2413> (date of request: 17.10.2023).
8. Dorokhin, S. V. Organization of radio communication with remote mobile ground objects / S. V. Dorokhin, V. A. Ivannikov, D. A. Zhayvoronok // *Modeling, optimization and information technologies*. – 2024. – Vol. 12, No. 4(47). – DOI 10.26102/2310-6018/2024.47.4.028 . – EDN DHXOLK.

Затонский А.П.кандидат техн. наук, конструктор ООО
«Агро-Гарант», г. Воронеж, РФ**Мерчалов С.В.**кандидат техн. наук, доцент кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ**Прядкин В.И.**доктор техн. наук, профессор кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ**Мураткин С.Е.**преподаватель кафедры автомобилей и
сервиса Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г.Ф. Морозова, РФ**Zatonsky A.P.**Candidate of Technical Sciences, Designer of
Agro-Garant LLC, Voronezh, Russian
Federation**Merchalov S.V.**Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation**Pryadkin V.I.**Doctor of Technical Sciences, Professor at the
Department of cars and service, Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov, Russian Federation**Muratkin S.E.**lecturer at the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ДВС ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

IMPROVING THE ENVIRONMENTAL QUALITIES OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE THROUGH THE USE OF EXHAUST GAS PURIFICATION

Аннотация. В статье представлены результаты и проанализирована система очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Система состоит из основного угольный фильтра и дополнительного электростатического фильтра, для выделения сажевых частиц. Проведенная апробация предложенной системы фильтрации была осуществлена на двигателе ЗМЗ-40906. Анализ экспериментальных исследований показал, что электростатический фильтр эффективно выделяет крупные частицы сажи с радиусом от 40 до 100 мкм, степень очистки составляет от 0,84 до 0,99. Ниже результат выделения получен при выделении сажевых частиц размерами от 10 до 30 мкм, степень очистки которых составляет от 0,3 до 0,7.

Abstract. The article presents the results and analyzes the exhaust gas purification system of the internal combustion engine (ICE). The system consists of only the main carbon filter and an additional electrostatic filter to isolate particulate matter. Testing of the proposed filtration system was carried out on the ZMZ-40906 engine. Analysis of experimental studies showed that the electrostatic filter effectively emits large particles of soot with a radius of 40 to 100 microns, the degree of purification is from 0.84 to 0.99. Below, the extraction result is obtained by separating soot particles with size of 10 to 30 mcm, the degree of purification of which ranges from 0.3 to 0.7.

Ключевые слова: каталитические нейтрализаторы, электростатические фильтры, центральный электрод, адсорбционные фильтры, сажевые частицы,monoоксид углерода, оксиды азота.

Keywords: catalytic converters, electrostatic filters, central electrode, adsorption filters, particulate matter, carbon monoxide, nitrogen oxides.

Введение

Развитие автомобильного транспорта в настоящее время привело к экологическим проблемам. Загрязнение атмосферы выбросами вредных веществ отработавшими газами ДВС, например, как угарный газ (CO), оксиды азота (NO_x), сажа, бенз(а)пирен и другие включения влияют серьезно на здоровье человека. Они обладают высокой канцерогенной активностью и способствуют развитию ряда серьезных заболеваний, включая респираторные, сердечнососудистые патологии, а также онкологические заболевания [1,2].

Для решения данной проблемы необходимо разработать и внедрить концепцию экологически чистого двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

В течение длительного периода эволюции проблемы автотранспортных выбросов и их негативного воздействия на качество атмосферного воздуха был разработан широкий спектр инновационных решений, направленных на минимизацию объема выхлопных газов и снижение их токсичности. Эти подходы включают в себя разнообразные методы, технические решения и конструктивные модификации, которые демонстрируют высокую степень эффективности в контексте экологической безопасности.

В настоящее время, для уменьшения вредных веществ в отработавших газах ДВС используется метод нейтрализации ОГ в системе выпуска, который представляет собой высокоэффективное решение данной проблемы [3,4,7].

На рисунке 1 представлена схема устройства выпускной системы бензиновых двигателей современных автомобилей.

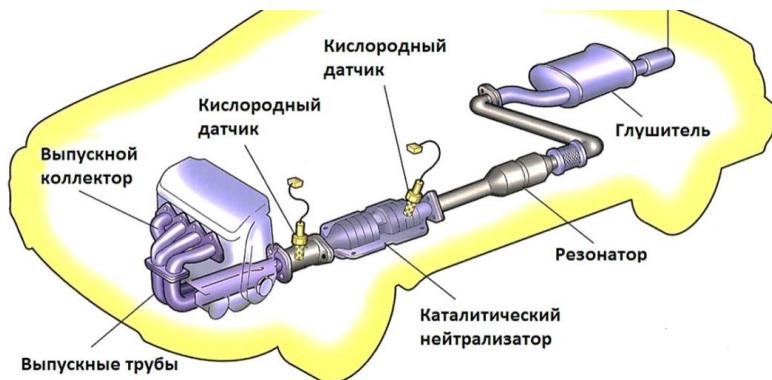


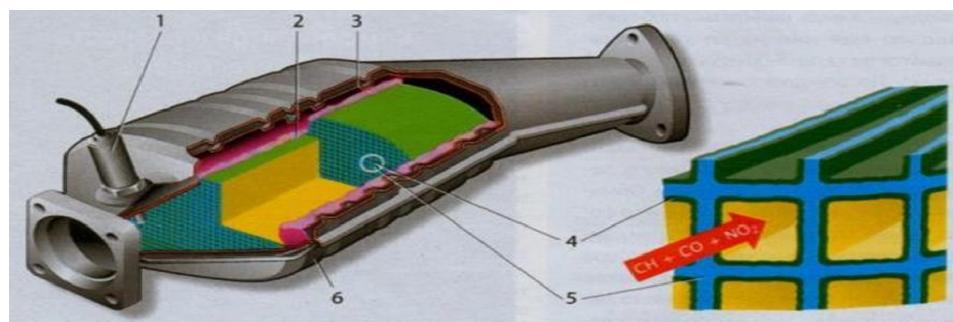
Рисунок 1 – Устройство выпускной системы отработавших газов бензиновых двигателей современных автомобилей

Каталитические нейтрализаторы, являются центральным элементом современных систем очистки выхлопных газов. Они делятся на окислительные нейтрализаторы и трехкомпонентные нейтрализаторы. Первые эффективны в снижении выбросов оксидов углерода (CO) и углеводородов (HC). Вторые также хорошо работают с выбросами CO, HC, а также с оксидами азота (NO_x).

В автомобилях с бензиновыми двигателями окислительные нейтрализаторы функционируют как катализаторы процесса дожигания продуктов неполного сгорания. Они оснащаются нагнетателями, пульсаторами или эжекторами для увеличения количества воздуха для улучшения каталитического процесса.

Для таких процессов необходимо контролировать состав горючей смеси. Регуляция состава смеси осуществляется с помощью лямбда-зонда, известного как датчик концентрации кислорода.

На рисунке 2 представлена конструкция каталитического трехкомпонентного нейтрализатора.



1 – кислородный датчик; 2 – цилиндр; 3 – терморасширительная прокладка; 4 – катализатор; 5 – керамический носитель; 6 – металлический корпус

Рисунок 2 – Конструкция каталитического трехкомпонентного нейтрализатора

Можно выделить следующие недостатки каталитических нейтрализаторов:

1. Имеют ограничения по применению, устанавливать их можно на двигателях внутреннего сгорания, работающих на бензине без содержания соединения свинца.
2. Каталитический нейтрализатор создает дополнительного сопротивления потоку выхлопных газов и способствует увеличению расхода топлива.
3. Необходимо соблюдать технико-эксплуатационные требования регулировки, установленные производителем, чтобы не ухудшить процесс нейтрализации и выхода из строя дорогостоящего компонента.
4. Благородные металлы платиновой группы значительно увеличивают

стоимость производства и эксплуатации транспортных средств, оснащенных каталитическими нейтрализаторами.

Дизельные агрегаты характеризуются высоким уровнем выбросов оксидов азота и твердых частиц, в частности сажи.

Конструкция сажевого фильтра, состоящую из множества параллельно расположенных каналов, заглушенных с одного конца, и обладающих пористыми стенками (рис.3). Выхлопные газы, проходя через эти пористые структуры, перемещаются из одного канала в другой, и в конечном итоге выходят с противоположной стороны через незаглушенный конец (рис.4). Для изготовления фильтров используются материалы с высокоразвитой пористой структурой, такие как пенокерамика и пенометалл, поскольку размеры их пор сопоставимы с размерами частиц дизельного сажевого загрязнения.



Рисунок 3 – Конструкция сажевого фильтра



Рисунок 4 – Сажевый фильтр заполненный

Цель работы

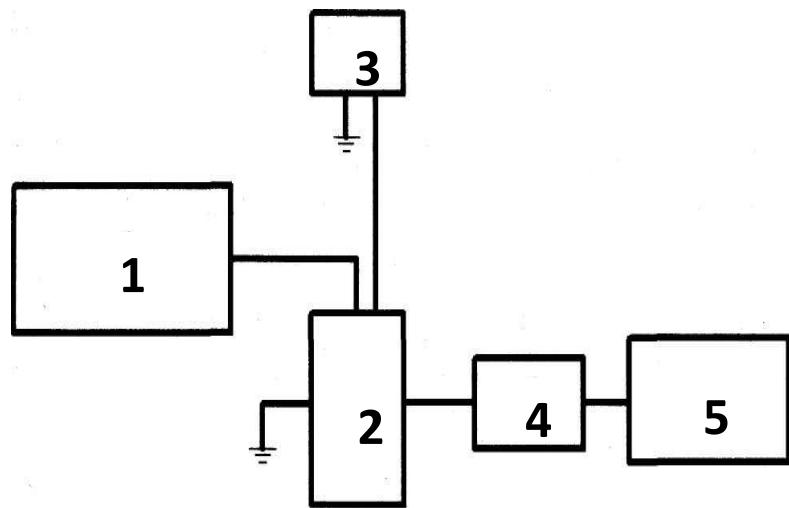
Целью данной работы является улучшение экологических показателей ДВС путем применения очистки отработавших газов.

В рамках решения данной проблемы предлагается улучшить систему очистки отработавших газов, установить в нее дополнительный электрофильтр, предназначенный для удаления сажевых частиц.

Объект исследования

В рамках текущего исследования была исследована схема очистки отработавших газов для двигателя ЗМЗ-40906 в условиях стендовых испытаний. Схема очистки отработавших газов представлена на рисунке 5. Для данного двигателя для очистки отработавших газов используется в основном угольный фильтр. В нашей схеме будет установлен дополнительный электростатический

ский фильтр перед угольным, который, по нашему мнению, может уменьшить содержание сажевых частиц в выхлопных газах и продлить срок службы основного.



1 – двигатель внутреннего сгорания (ДВС); 2 – электростатический фильтр; 3 – преобразователь напряжения электрофильтра; 4 – эжектор; 5 – адсорбционный фильтр

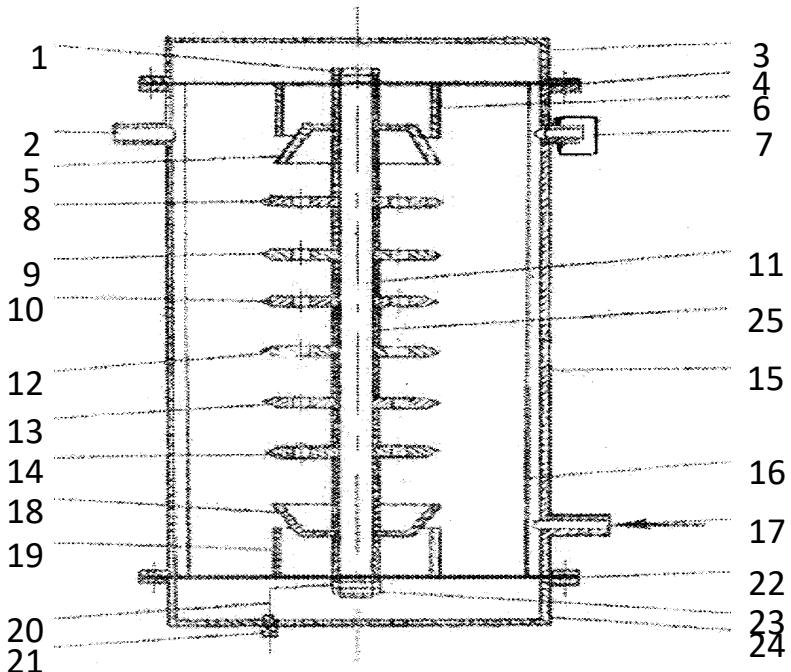
Рисунок 5 – Схема очистки отработавших газов ДВС с дополнительным электрофильтром

Принцип функционирования системы очистки выхлопных газов основан на комплексной физико-химической обработке выбросов двигателя внутреннего сгорания. В процессе работы двигателя 1 создается избыточное давление в выпускном коллекторе и отработанные газы поступают в систему очистки.

Из двигателя 1 выхлопные газы поступают в электростатический фильтр 2 (рис.6) и движутся радиально по отношению к центральному электроду фильтра, сталкиваясь с завихрителем 6 и 19. Завихрители придают газам вращательно-поступательное движение вдоль электрода, что приводит к снижению их скорости. При подаче высокого напряжения на центральный электрод электрофильтра возникает неоднородное электрическое поле между электродом и стенками устройства. При этом, при подаче высокого напряжения на центральный электрод электрофильтра возникает неоднородное электрическое поле между электродом и стенками устройства и происходит коронный электрический разряд, в результате которого формируются ионы. Частицы сажи, контактируя с электродом и взаимодействуя с ионами, подвергаются процессу электризации, то есть приобретают электрический заряд движущие от коронирующую

щего электрода в направлении стенок корпуса что способствует оседанию твердых частиц на поверхности электродов.

Под воздействием сил электрического поля и центробежных сил, эти заряженные частицы движутся к выпускной трубе, где, благодаря закрученному потоку, переносятся к сажесборнику 7.



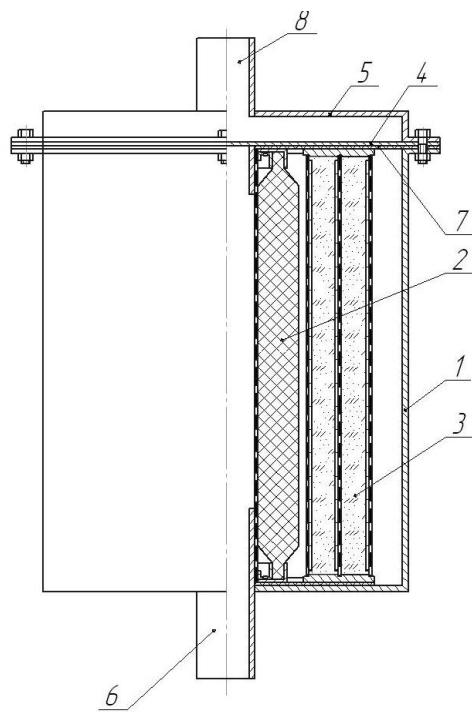
1, 23 – стяжные гайки центрального электрода; 2 – выходная труба (патрубок); 3 – верхняя крышка электрофильтра; 4, 22 – центрирующие диски; 5, 18 – тарельчатые коронирующие диски; 6, 19 – завихрители; 7 – сажесборник; 8, 9, 10, 12, 13, 14 – дисковые коронирующие диски; 11 – коронирующий центральный электрод; 15 – корпус электрофильтра; 16 – осадительный электрод; 17 – входная труба; 20 – питающий проводник; 21 – изолятор питающего проводника; 24 – нижняя крышка электрофильтра; 25 – междисковый изолятор распорник

Рисунок 6 – Электростатический фильтр

Механизм очистки в электрофильтре основан на комплексной электродинамической системе, включающей генерацию коронного разряда, ионизацию газа, электризацию частиц сажи и их последующее удаление из воздушного потока.

Электрофильтр даляет сажу из отработанных газов, после чего они посредством эжектора 4 поступают в адсорбционный фильтр 5 (рис. 8).

После прохождения двойной очистки, отработанные газы выводятся в атмосферу, обеспечивая значительное улучшение качества атмосферного воздуха и снижение экологической нагрузки.



1 – корпус; 2 – фильтр сажевый; 3 – фильтр адсорбционный; 4 – крышка корпуса; 5 – крышка прижимная; 6 – выходной патрубок; 7 – прокладка; 8 – входной патрубок

Рисунок 8 – Адсорбционный фильтр

Преобразователь напряжения для электрофильтра в виде схемы представ-лен на рисунке 9. Преобразователь состоит из транзисторов VT1 и VT2, а также трансформатора TV1.

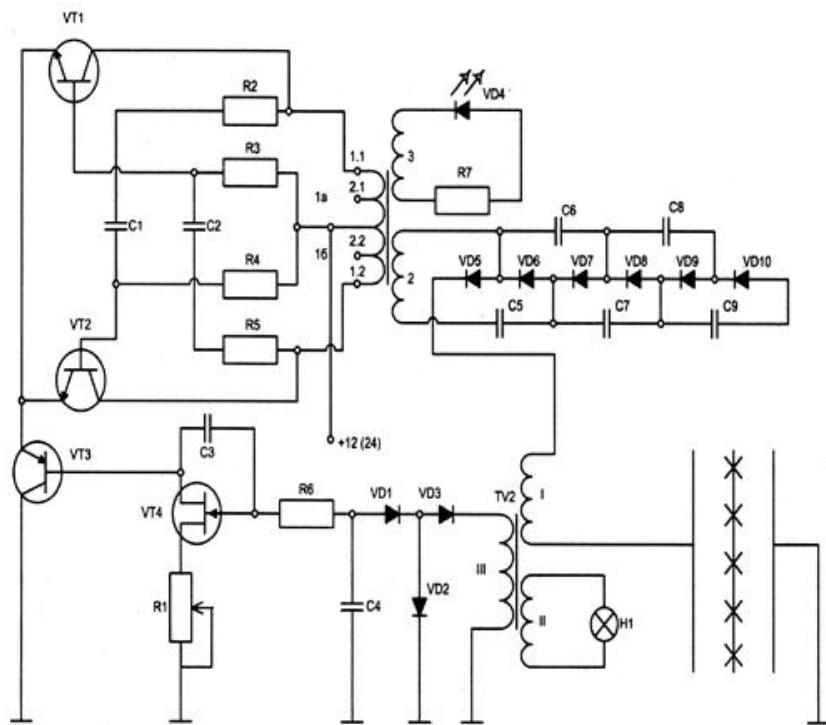


Рисунок 9 – Схема преобразователя напряжения

Генератор для преобразования постоянного тока в ток повышенной частоты выполнен из транзисторов VT1, VT2 и трансформатора TV1. Высоковольтная обмотка генератора питает схему утроения напряжения из конденсаторов С5 - С9 и высоковольтных диодов VD5 - VD10.

Ручная регулировка высокого напряжения выполняется вручную через транзистор VT3 и резистор R1.

Напряжению 24 соответствует положения 1.1 и 1.2 переключателя П1. Напряжению 12 В соответствует положения 2.1 и 2.2.

Результаты и обсуждения

Для исследования предлагаемой схемы и оценки эффективности очистки отработавших газов от сажевых включений электростатическим фильтром были проведены стендовые испытания для двигателя ЗМЗ-40906.

По удельной площади f , оценивалась степень осаждения сажевых частиц η электрофильтром

$$f = \frac{F}{Q_6}, \quad (1)$$

где F – площадь осадительного электрода, м^2 ; Q – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$F = 2\pi \cdot R_1 \cdot \ell, \quad (2)$$

где R_1 – радиус осадительного электрода, м, ℓ – длина электрического поля.

Показатель степени очистки η (таблица) определяли по гранулометрической характеристике каждой выделенной фракции, что позволило объективно оценить эффективность фильтрации на микроскопическом уровне.

Таблица – Степень очистки отработанных газов ДВС

Радиус частиц, мкм	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Содержание Φ , %	10	10	20	10	10	10	10	5	5	5
Степень очистки η , %	0,3	0,62	0,75	0,84	0,89	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99

Данный подход к анализу эффективности системы очистки является важным шагом в повышении экологической безопасности транспортных средств. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшего совершенствования систем очистки и разработки новых технологий, направленных на снижение выбросов вредных веществ в атмосферу.

Анализ результатов демонстрирует высокую эффективность электрофильтра в осаждении крупных частиц сажи с радиусом от 40 до 100 мкм, характеризующуюся степенью очистки в диапазоне от 0,84 до 0,99. Эти частицы, благодаря своим размерам, обладают повышенной восприимчивостью к ионизации в электрическом поле, что способствует их более эффективному выделению из отработанных газов ДВС. Частицы с меньшими гранулометрическими размерами подвержены электростатическому воздействию слабее. Степень очистки последних (10-30 мкм) составляет от 0,3 до 0,7.

Выводы

1. Результаты исследований доказали работоспособность предлагаемой конструкции электрофильтра с преобразователем напряжения.
2. Эффективность в осаждении крупных частиц сажи с радиусом от 40 до 100 мкм характеризуются степенью очистки в диапазоне от 0,84 до 0,99.
3. Частицы с меньшими гранулометрическими размерами подвержены электростатическому воздействию слабее. Степень очистки последних (10-30 мкм) составляет от 0,3 до 0,7.
3. Повышенной восприимчивостью к ионизации в электрическом поле обладают частицы сажи с крупными размерами, что способствует их более эффективному выделению из отработанных газов ДВС.

Список литературы

1. Белоусов В.А. Снижение дымности отработавших газов автотракторных дизелей электрофильтром дожигателем / В.А. Белоусов // Автореф. дис.канд. техн. наук. – Минск, 2001. – 23 с.
2. Гришин А.П. Улучшение экологических показателей автотракторных дизелей путем применения нейтрализаторов отработавших газов / А.П. Гришин // Автореф. дис. канд. техн. наук. Саратов, 2002. – 20 с.
3. Гусев А.С. Стабилизация экологической обстановки и использование современных видов моторного топлива: Информационно-аналитические аспекты / А.С. Гусев, А.Н. Максимов, А.Ю. Матвеев, Л.М. Дунаев // Обзорная информация. – М.: СЭБ Интернационал Холдинг, 2001. – С. 99-124.
4. Жегалин О.И. Снижение токсичности автомобильных двигателей / О.И. Жегалин, П.Д. Лупачев // Обзорная информация. М.: Транспорт, 1985. – С. 62-86.

5. Затонский А.П. К расчету скорости движения пылевых частиц в самоочищающемся воздухоочистителе / А.П. Затонский, А.С. Чернигин // Обеспечение эффективного функционирования производственного потенциала АПК России в условиях рыночных отношений: тез. докл. межрегион. науч. – практ. конф. мол. ученых и специалистов / ВГАУ им. К.Д. Глинки. – Воронеж, 1993. – С. 224.

6. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов – М.: Машиностроение, 1991. – 180 с.

7. Карабельников С.К. Снижение дымности отработанных газов дизелей путем научного обоснования, создания и применения сажеуловителей в системе выпуска / С.К. Карабельников // Автореф. дис. канд. техн. наук. Санкт - Петербургский аграрный университет 2002. – 25 с.

References

1. Belousov V.A. Reducing the smoke content of exhaust gases of tractor diesels by an electric afterburner filter / V.A. Belousov // Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. – Minsk, 2001. – 23 p.
2. Grishin A.P. Improving the environmental performance of tractor diesels by using exhaust gas neutralizers / A.P. Grishin // Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Saratov, 2002. – 20 p.
3. Gusev A.S. Environmental stabilization and the use of modern types of motor fuels: Information and analytical aspects / A.S. Gusev, A.N. Maksimov, A.Yu. Matveev, L.M. Dunaev // Overview information. Moscow: SEB International Holding, 2001. pp. 99-124.
4. Zhegalin O.I. Reducing the toxicity of automobile engines / O.I. Zhegalin, P.D. Lupachev // Overview information. Moscow: Transport, 1985. – pp. 62-86.
5. Zatonsky A.P. On calculating the speed of movement of dust particles in a self-cleaning air purifier / A.P. Zatonsky, A.S. Chernigov // Ensuring the effective functioning of the industrial potential of the Russian agro-industrial complex in market relations: thesis. dokl. mezhrégion. scientific and practical conference of young scientists and specialists / VGAU named after K.D. Glinka. Voronezh, 1993, p. 224.
6. Zvonov V.A. Toxicity of internal combustion engines / V.A. Zvonov – Moscow: Mashinostroenie, 1991, 180 p.
7. Karabelnikov S.K. Reducing the smoke content of exhaust gasesdiesel engines by scientific substantiation, creation and application of soot traps in the exhaust system / S.K. Karabelnikov // Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. St. Petersburg Agrarian University, 2002. – 25 p.

Колядин П.А.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Рубцов Е.Г.

преподаватель кафедры автомобилей и
сервиса Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Татаринцев В.Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г.Ф. Морозова, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Kolyadin P.A.

assistant of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Rubtsov E.G.

lecturer at the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Tatarintsev V.Yu.

assistant of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doctor of Technical Sciences, Professor of
the Department of cars and service, Voronezh
State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Russian Federation

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА В ПОДВЕСКЕ АВТОМОБИЛЯ УАЗ ПАТРИОТ

APPLICATION OF A COMBINED ELASTIC ELEMENT IN THE SUSPENSION OF THE UAZ PATRIOT VEHICLE

Аннотация. В статье описывается проблема повышения плавности хода легковых автомобилей повышенной проходимости. Производится моделирование задней подвески автомобиля с комбинированным упругим элементом подвески, разработана компьютерная программа «Программа для моделирования движения автомобиля с рессорно-пневматической подвеской». Результаты моделирования свидетельствуют о снижении основной пик амплитуды колебаний с 0,01 до 0,02 м. м при увеличении давления в пневматическом элементе с 3 до 7 атм. С увеличением нагрузки с 850 до 1650 кг увеличиваются колебания на частоте 0,55 Гц с 0,10 до 0,13 м., при этом энергия колебаний перераспределяется таким образом, что уменьшаются колебания в частотном диапазоне 0,8 ... 5,0 Гц.

Abstract. This article describes the problem of improving the ride quality of off-road passenger vehicles. The rear suspension of a vehicle with a combined elastic suspension element is simulated, and a computer program, "Program for Simulating the Motion of a Vehicle with a Spring-Air Suspension," is developed. The simulation results indicate a decrease in the main peak oscillation amplitude from 0.01 to 0.02 m/s with an increase in the pressure in the pneumatic element from 3 to 7 atm. As the load increases from 850 to 1650 kg, oscillations at a frequency of 0.55 Hz increase from 0.10 to 0.13 m/s, with the oscillation energy redistributed such that oscillations in the frequency range of 0.8 to 5.0 Hz are reduced.

Ключевые слова: шина, пневматический упругий элемент, подвеска, плавность хода, автомобиль, моделирование.

Keywords: tire, pneumatic spring, suspension, ride quality, car, modeling.

Введение

Проблема повышения плавности хода автомобилей остается одной из наиболее актуальных направлений развития автомобилестроения [1]. Увеличение скоростей движения транспортных средств связано с увеличением вибрационной нагруженности на элементах конструкции [2]. Повышение вертикальных ускорений и амплитуды колебаний рамы автомобиля и сиденья оператора вызывает ряд негативных последствий, связанных как с техническим состоянием транспортного средства [3, 4], так и со здоровьем водителя и пассажиров [5].

Одним из способов повышения плавности хода автомобиля является применение упругого элемента подвески с изменяемой характеристикой, жесткость которого меняется в зависимости от подпрессоренной массы. Однако особый интерес представляет подвеска автомобиля, где одновременно с пневматическим пневмобаллоном применяется и классическая металлическая малолистовая рессора [6, 7]. Применение и взаимодействие таких упругих элементов подвески рассматривалось в более раннем исследовании, где была составлена модель задней подвески легкового автомобиля повышенной проходимости УАЗ Патриот и были проведены лабораторные исследования шины КАМА-219 размерностью 225/75R16 и пневматического упругого элемента [8]. В то же время остается нерешенной задача определения зависимости изменения вибрационной нагруженности от давления воздуха в пневмобаллоне и суммарной подпрессоренной массы. Поэтому исследование вопроса требует рассмотрения.

Цель исследования: снижение вибрационной нагруженности подпрессоренных частей легкового автомобиля повышенной проходимости.

Методика проведения исследования

Согласно ранее разработанной модели задней подвески автомобиля УАЗ Патриот с комбинированным упругим элементом подвески и составленной системой дифференциальных уравнений [8], был предложен следующий способ их решения.

Комбинированный упругий элемент обеспечивает линейную нагрузочную характеристику при малой загрузке автомобиля (до 0,3 от максимальной загрузки) и нелинейную вогнутую характеристику при большой загрузке. В соответствии с этим сила, действующая со стороны подвески на корпус мобильного средства, задавалась в модели следующим выражением:

$$z_0(t) = \sum_{i=1}^{N_h} H_i \exp\left(-\frac{(v \cdot t - x_i)^2}{2\sigma_i^2}\right), \quad (1)$$

где $c_{\text{п}}$ – коэффициент жесткости рессоры в линейном приближении; z_0 – начальная высота рессоры (высота расположения верхней контактной площадки подвески в случае нулевой нагрузки со стороны корпуса); F_1, F_a, A, z_1 – параметры силовой характеристики пневматического элемента в адиабатическом приближении.

На рисунке 1 представлен график нагрузочной характеристики комбинированного упругого элемента. При деформации 0,1 м (30% от полной загрузки автомобиля) происходит смена характера силовой характеристики с линейного на нелинейный. В модели используется предположение, что датчик нагрузки мгновенно включает и отключает пневматический элемент, и мгновенно происходит само переключение между рессорой и пневматическим элементом. В порожнем положении на комбинированный упругий элемент приходится 634,4 кг. При полной нагрузке на комбинированный упругий элемент приходится 1434,4 кг. Ноль нагрузки, когда мост поднят над опорным основанием.

Часть компьютерных экспериментов провели для различных типов опорных поверхностей, характерных для движения автомобиля. Функцию рельефа задавали формулой:

$$z(x) = A_1 e^{-\alpha_1/x^*} + A_2 e^{-\alpha_2/x^*} \cos \beta_2 l. \quad (2)$$

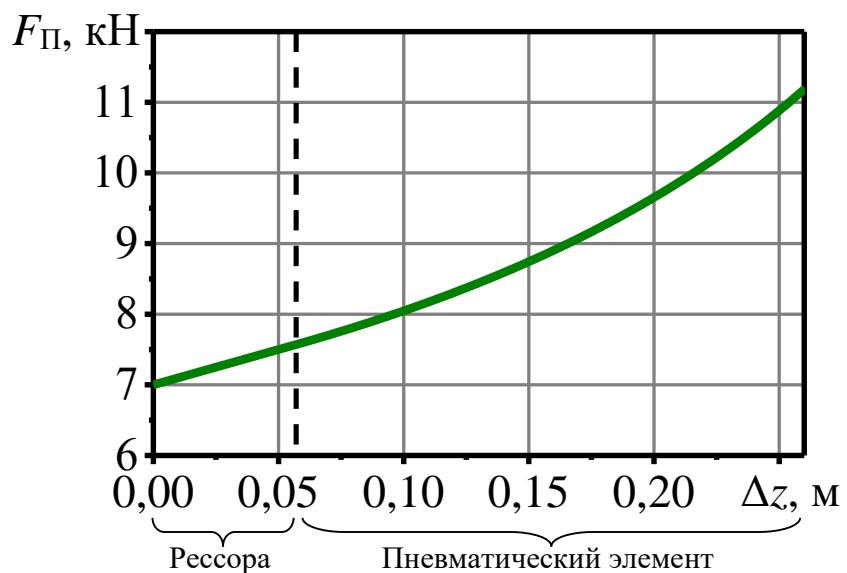


Рисунок 1 – Зависимость силы $F_{\text{п}}$, оказываемой подвеской на корпус автомобиля, от деформации Δz комбинированного упругого элемента (деформация от порожнего состояния)

Задающие геометрические особенности неровностей параметры выражения для различных типов опорной поверхности представлены в таблице 1

Таблица 1 – Параметры выражения, задающего неровности опорной поверхности

Тип опорной поверхности	$\sqrt{R(0)}$	A_1	A_2	α_1	α_2	β_1
1. Лущеная стерня озимой пшеницы поперек направления уборки	2,74	0,95	0,05	0,50	0,30	1,18
2. Грунтовая полевая дорога	2,12	1,0	1,0	0,50	0,58	0,63
3. Бульжная дорога со впадинами и буграми	3,28	0,85	0,15	0,5	0,2	2,0

Для реализации модели разработана компьютерная программа «Программа для моделирования движения автомобиля с рессорно-пневматической подвеской» на языке ObjectPascal в среде программирования BorlandDelphi 7.

В процессе работы программа регулярно выводит на экран схематичное изображение подвески, графики зависимости вертикального положения не-подрессоренной и подрессоренной масс, а также спектр колебаний корпуса автомобиля (рисунок 2). Программа применима для различных параметров рессорно-пневматической подвески, условий движения и варианта рельефа опорной поверхности.

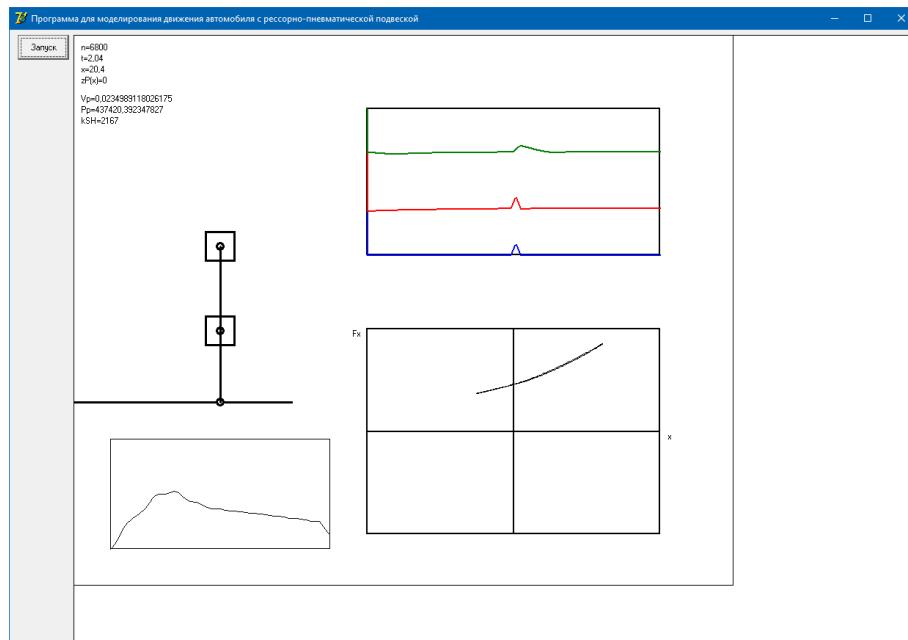


Рисунок 2 – Изображение, выводимое на экран в процессе работы программы: схематичное изображение двухмассовой упругой системы, графики вертикальной координаты центра колеса и корпуса автомобиля, спектр колебаний корпуса

Переменные, относящиеся к разработанной модели (рисунок 3), можно разделить на четыре группы: три группы входных переменных и одну группу показателей эффективности.

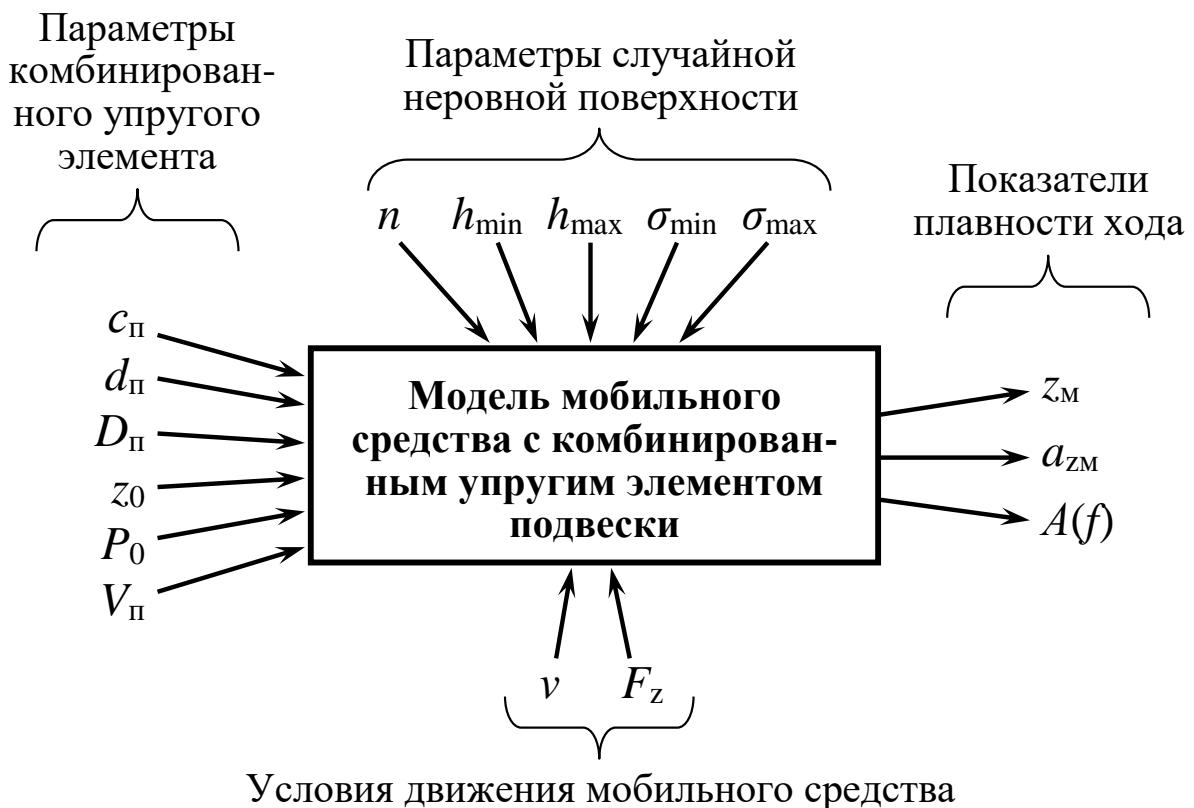


Рисунок 3 – Основные параметры модели гидропневматической подвески и показатели эффективности

К первой группе входных переменных относятся параметры подвески и комбинированного упругого элемента:

c_{π} – жесткость рессоры подвески;

d_{π} – коэффициент демпфирования рессоры и амортизатора подвески;

D_{π} – диаметр пневмоэлемента;

z_0 – начальная высота расположения корпуса при нулевой нагрузке на подвеску;

P_0 – начальное давление в пневматическом элементе подвески при нулевой нагрузке на подвеску;

V_{π} – начальный суммарный объем пневмоэлемента подвески и подключенного к ней ресивера.

Вторая группа переменных задает рельеф случайной опорной поверхности:

n – линейная плотность неровностей (количество неровностей на 1 км участка модельной неровной поверхности);

h_{\min} и h_{\max} – минимальная и максимальная высоты неровностей: границы диапазона для выбора по равномерному закону распределения вероятности;

σ_{\min} и σ_{\max} – минимальная и максимальная длины неровностей: границы диапазона для выбора по равномерному закону распределения вероятности;

Третья группа переменных связана с условиями эксплуатации автомобиля:

v – скорость движения автомобиля;

F_z – нагрузка, приходящаяся на колесо.

К показателям эффективности подвески с комбинированным упругим элементом относятся:

z_m – максимальная амплитуда колебаний корпуса автомобиля;

a_{zm} – максимальное ускорение корпуса автомобиля;

$A(f)$ – спектр колебаний корпуса автомобиля;

Результаты исследования

В базовом компьютерном эксперименте все параметры модели имели наиболее типичные значения для процесса движения автомобиля. Автомобиль двигался с продольной скоростью 10 м/с (36 км/ч) по опорной поверхности случайной формы на протяжении 100 с.

На рисунке 4 представлены первичные графики, полученные в результате моделирования. Нижний график $z_n(t)$ представляет собой изменение с течением времени высоты точки контакта колеса и опорной поверхности. Средний график $z_k(t)$ представляет зависимость от времени вертикальной координаты ведущего моста. Верхний график $z_a(t)$ изображает зависимость от времени вертикальной координаты корпуса автомобиля. На основе визуального сравнения можем отметить, что характер изменения графика $z_a(t)$ более плавный, чем $z_n(t)$. Это свидетельствует об эффективной работе подвески, обеспечивающей достаточно высокую плавность хода автомобиля.

После прохождения автомобилем в модели дистанции 1 км на основе графика $z_a(t)$ рассчитывался спектр колебаний корпуса автомобиля (амплитудный спектр, рисунок 5).

Судя по положению пика спектра, колебания наибольшей амплитуды происходят с частотой 0,55 Гц. В частотном диапазоне более 1,5 Гц колебания практически не происходят.

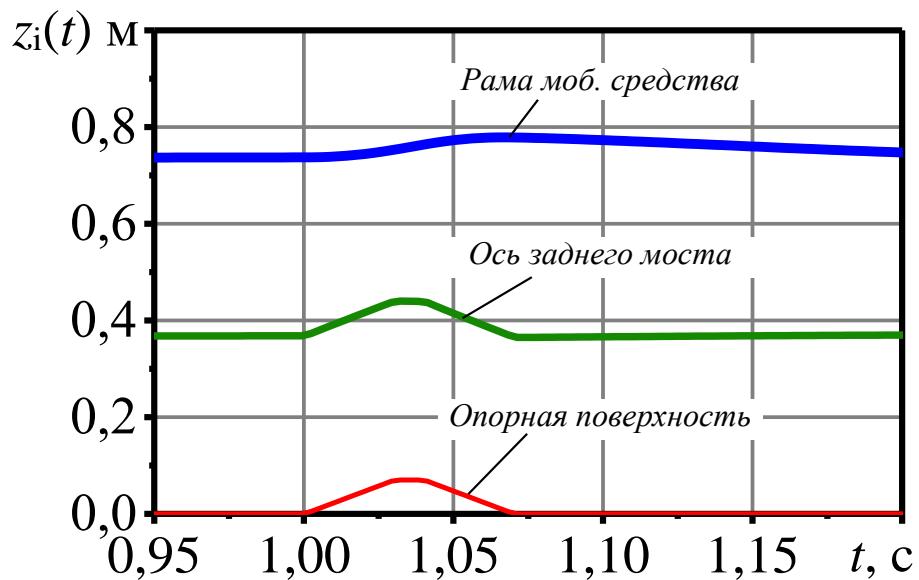


Рисунок 4 – Зависимость от времени вертикального положения точки контакта колеса с опорной поверхностью (внизу); оси ведущего моста (в центре); корпуса автомобиля (вверху) при движении по случайной неровной опорной поверхности

Дальнейшее теоретическое исследование заключалось в изменении какого-либо из параметров модели, при сохранении остальных параметров модели постоянными, и анализу влияния изменяемого параметра.

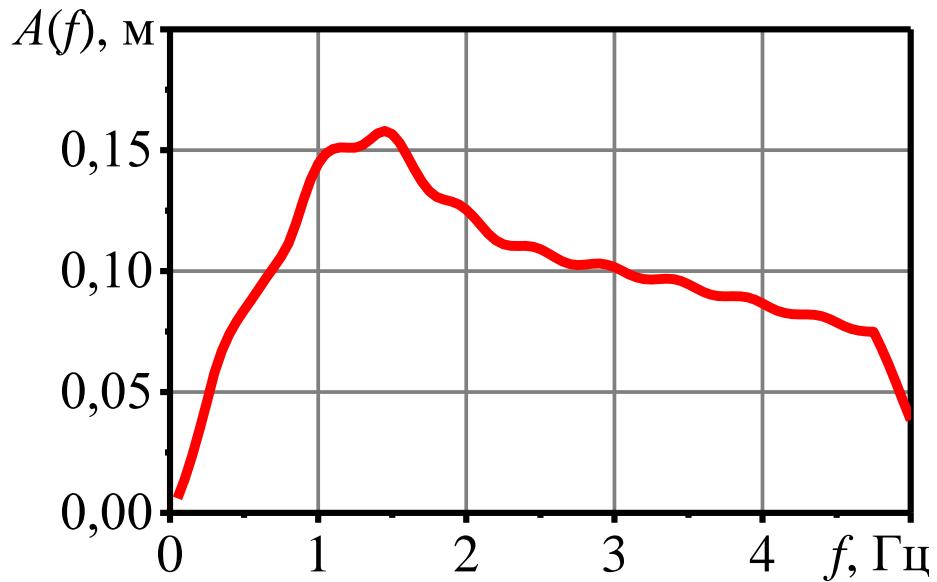


Рисунок 5 – Амплитудный спектр вертикальных колебаний корпуса мобильного средства

От параметров пневматического элемента в комбинированном упругом элементе подвески должна зависеть плавность хода автомобиля. Одним из основных параметров мобильного средства является давление воздуха в нем в отсутствии нагрузки P_0 . Проведены три серии компьютерных экспериментов, в

которых варьировали давление P_0 на уровнях 1,5, 3, 4,5 атм. В зависимости от давления P_0 статическая силовая характеристика подвески различалась участком, на котором работает пневматический элемент (рисунок 6 и 7). Движение производилось по случайной неровной опорной поверхности.

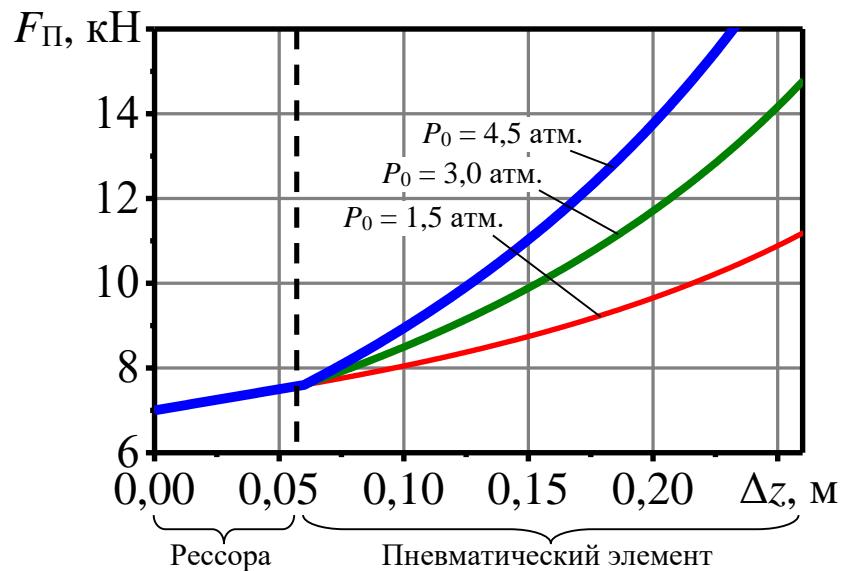


Рисунок 6 – Зависимость силы F_{Π} , оказываемой подвеской на корпус автомобиля, от деформации Δz комбинированного упругого элемента (деформация от порожнего состояния)

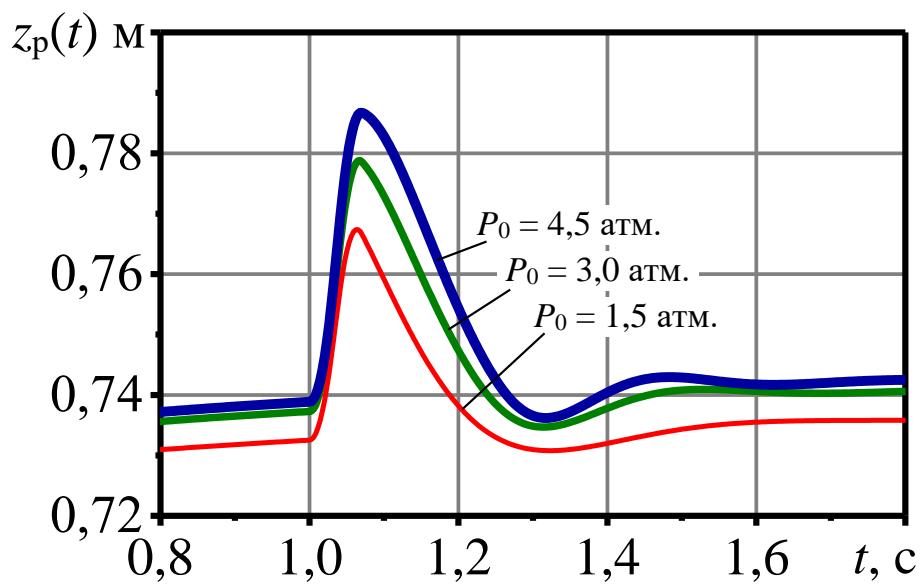


Рисунок 7 – Зависимость от времени вертикального положения рамы мобильного средства при движении по единичной трапециевидной неровности

Обнаружено, что с увеличением давления в пневматическом элементе с 1,5 до 4,5 атм. спектр (рисунок 8) улучшается: снижается основной пик с 0,121 до 0,110 м, за счет размытия энергии колебаний по широкому диапазону частот

3...5 Гц и увеличения в нем амплитуды колебаний с 0.01 до 0.02 м. По-видимому, улучшение спектра с увеличением давления обусловлено тем, что силовая характеристика становится более нелинейной.

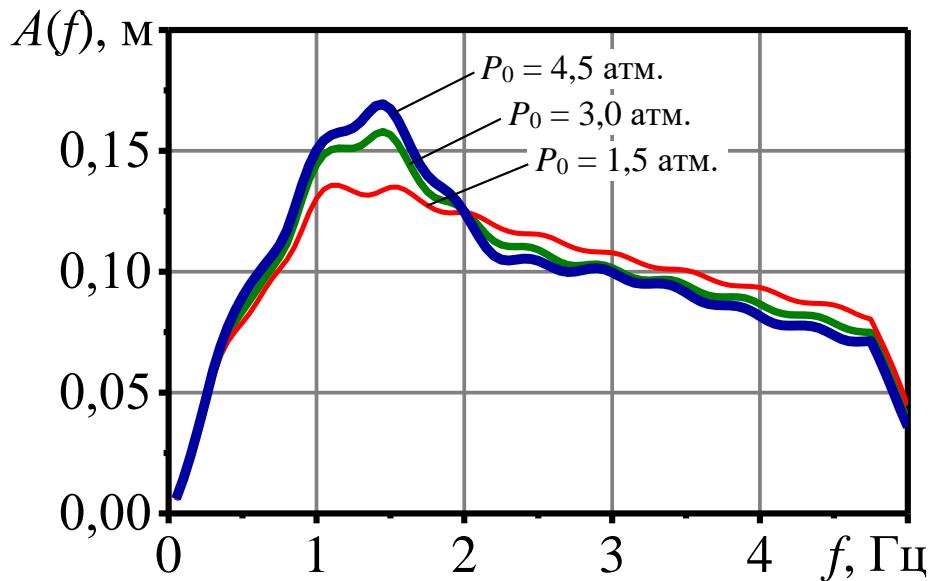


Рисунок 8 – Амплитудный спектр вертикальных колебаний рамы мобильного средства

Обнаружено, что с увеличением нагрузки с 200 до 800 кг увеличиваются колебания на частоте 1,2 Гц с 0,17 до 0,19 м (рисунок 9).

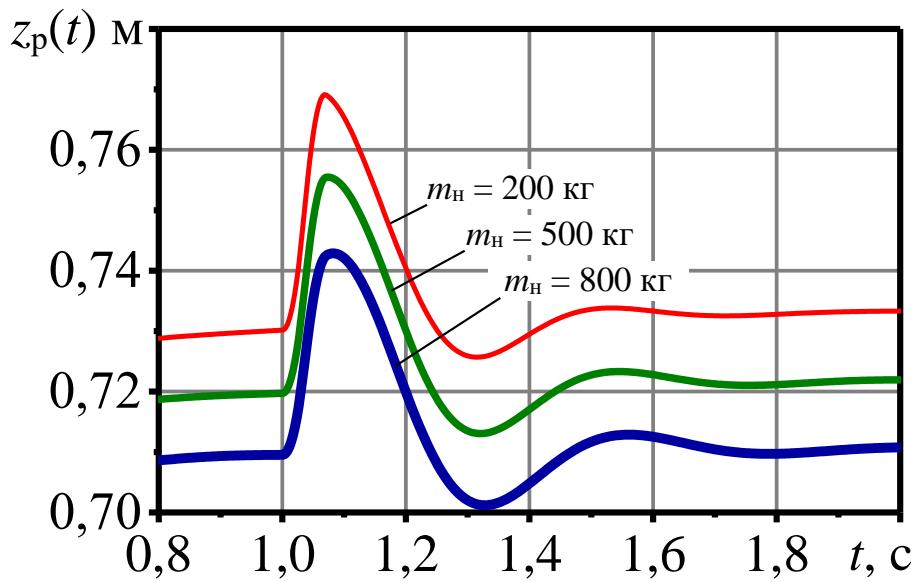


Рисунок 9 – Зависимость от времени вертикального положения рамы автомобиля при движении по единичной трапециевидной неровности

При этом энергия колебаний перераспределяется таким образом, что уменьшаются колебания в частотном диапазоне 1,5 ... 5,0 Гц. Отличие первичных графиков заключается в том, что с увеличением нагрузки уменьшается

вертикальная координата корпуса, что приводит к более низкому расположению графика колебаний корпуса $z_a(t)$ (рисунок 10).

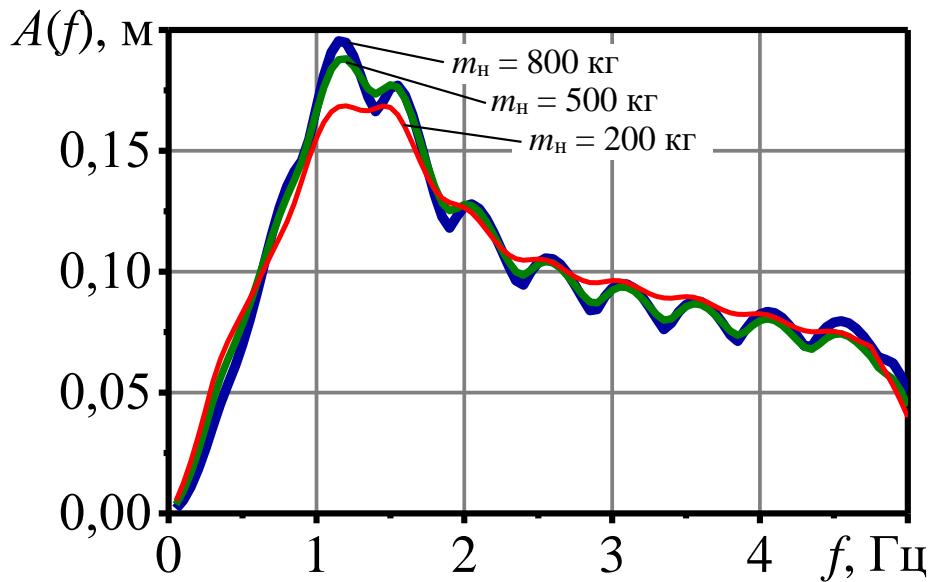


Рисунок 10 – Амплитудный спектр вертикальных колебаний рамы автомобиля

На графике зависимости от времени вертикального положения (рисунок 11) видно, что при движении по опорной поверхности со случайными неровностями линия вертикального положения рамы автомобиля изменяется более плавно, чем линия опорной поверхности, что говорит о хорошей работе упругих элементов подвески. Полученный спектр вертикальных колебаний рамы мобильного средства при движении по случайной опорной поверхности приведен на рисунке 12.

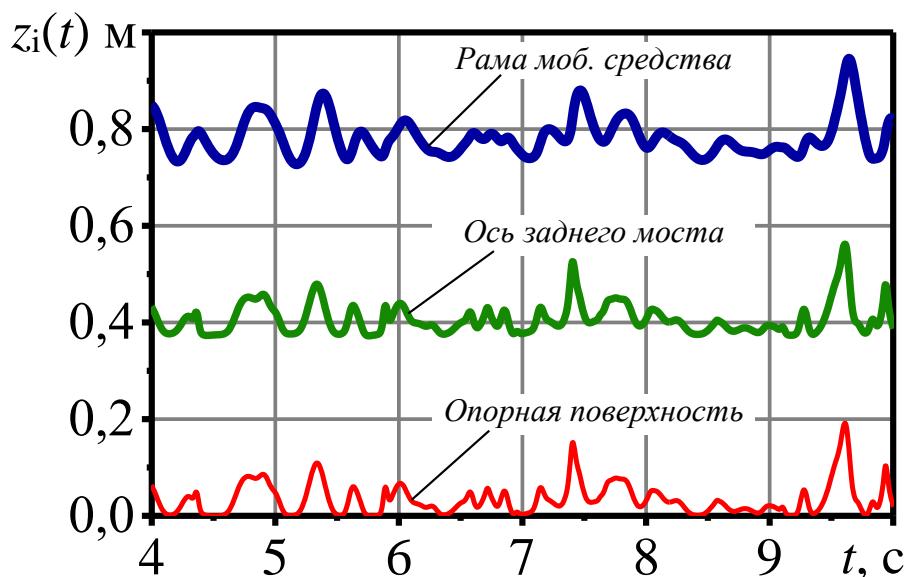


Рисунок 11 – Зависимость от времени вертикального положения точки контакта колеса с опорной поверхностью (внизу); оси заднего моста (в центре); рамы мобильного средства (вверху) при движении по опорной поверхности со случайными неровностями

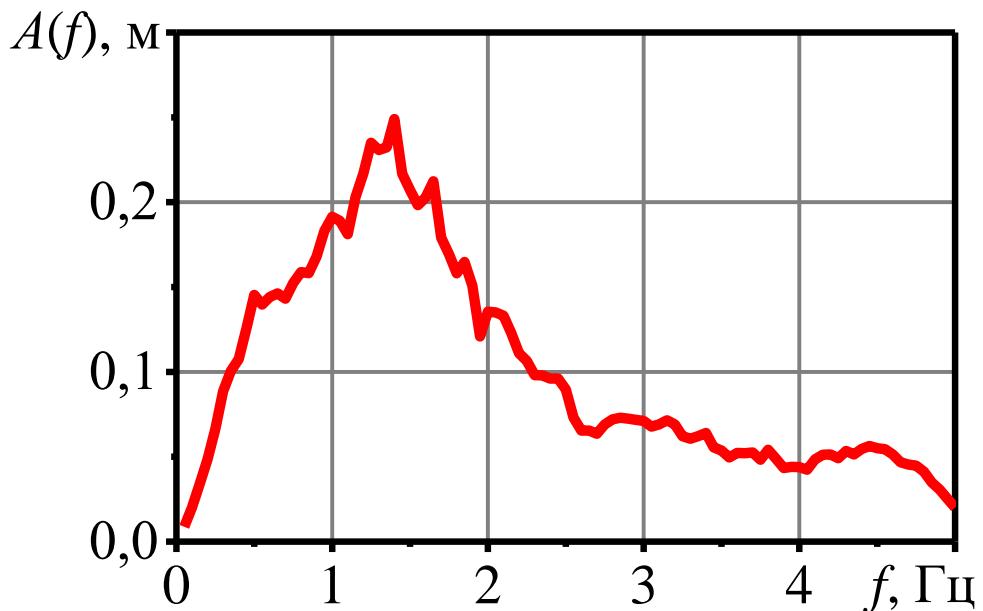


Рисунок 12 – Амплитудный спектр вертикальных колебаний рамы мобильного средства

Выводы

1. При движении по неровной опорной поверхности со скоростью 10 м/с комбинированный упругий элемент обеспечивает достаточно хорошую плавность хода с наибольшей амплитудой колебания при частоте 0,55 Гц. Подвеска с комбинированным упругим элементом обеспечивает практически полное гашение колебаний с частотой более 1,5 Гц.
2. При движении по лущеной стерне по сравнению со спектром для движения по случайной неровной опорной поверхности выявлены следующие отличия: основной пик при частоте 0,55 Гц уменьшен с 0,13 до 0,08 м, однако наблюдается незначительный второй пик амплитудой около 0,02 м в частотном диапазоне 1,3 ... 2,0 Гц. Кроме того, при частотах выше 2 Гц происходят незначительные колебания 0,01...0,02 м, тогда как для сравниваемого спектра амплитуда колебаний была менее 0,01 м
3. Неровности опорной поверхности с выраженной периодичностью и большой амплитудой (грунтвая дорога) вызывают выраженные колебания на частоте, соответствующей частоте воздействия периодических неровностей, в частности, основной пик спектра при частоте 0,4 Гц имеет амплитуду 0,26 м. Прослеживается также второй пик амплитудой 0,4 м в диапазоне частот 0,5...0,9 Гц. Колебания частотой более 1 Гц практически не выражены.
4. При движении по булыжниковой дороге особенностью спектра является широкий основной пик с практически постоянной амплитудой колебаний

0,07 м в диапазоне частот 0,3...0,9 Гц, а также сравнительно высокая амплитуда колебаний 0,020...0,025 м в диапазоне частот 1 ... 5 Гц.

5. Подвеска с комбинированным упругим элементом на изученных четырех типах опорной поверхности обеспечивает достаточно хорошую плавность хода. Колебаний корпуса мобильного средства происходят в диапазоне частот 0,3...0,9 Гц и диапазоне амплитуд 0,01...0,26 м.

6. С увеличением давления в пневматическом элементе с 3 до 7 атм. спектр улучшается: снижается основной пик с 0,121 до 0,110 м, за счет размытия энергии колебаний по широкому диапазону частот 3...5 Гц и увеличения в нем амплитуды колебаний с 0,01 до 0,02 м. По-видимому, улучшение спектра с увеличением давления обусловлено тем, что силовая характеристика становится более нелинейной.

7. С увеличением нагрузки с 850 до 1650 кг увеличиваются колебания на частоте 0,55 Гц с 0,10 до 0,13 м. При этом энергия колебаний перераспределяется таким образом, что уменьшаются колебания в частотном диапазоне 0,8...5,0 Гц.

Список литературы

1. Певзнер, Я.М. Пневматические и гидропневматические подвески / Я.М. Певзнер, А.М. Горелик – М. : Техника. Технологии. Инженерия., 2016. – 19 с.
2. Перспективные мобильные средства на шинах сверхнизкого давления для сельскохозяйственного производства / З. А. Годжаев, В. И. Прядкин, П. А. Колядин, А. В. Артемов // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 4. – С. 277-286. – DOI 10.17816/0321-4443-115016. – EDN EHPEDS.
3. Лелиовский, К. Я. Определение на стенде влияния эксплуатационных дефектов зубчатых колес на вибрационные характеристики работы коробок передач / К. Я. Лелиовский, М. Г. Корчажкин // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1-3(88). – С. 62-68. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-62-68. – EDN SSEDWY.
4. Лелиовский, К. Я. Расчет спектральных характеристик вибраций элементов трансмиссии транспортных средств, обусловленных эксплуатационными повреждениями / К. Я. Лелиовский, Ю. И. Молев // Вестник гражданских инженеров. – 2024. – № 1(102). – С. 95-103. – DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-1-95-103. – EDN JQCMQS.
5. Прядкин, В. И. Транспортно-технологические средства на шинах сверхнизкого давления / В. И. Прядкин, В. Я. Шапиро, З. А. Годжаев, С. В. Гончаренко ; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2019. – 492 с.
6. Прядкин, В. И. Моделирование режима движения грузового автомобиля с комбинированным упругим элементом в подвеске заднего моста / В. И. Прядкин, А. М. Завьялов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2020. – Т. 4, № 4(34). – С. 114-119. – DOI 10.34220/2311-8873-2021-4-4-114-119. – EDN RSBNV.
7. Экспериментальная оценка тягово-цепных качеств широкопрофильной шины / С. Д. Зайцев, Л. С. Стреблеченко, С. В. Гончаренко, В. И. Прядкин // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 8. – С. 25-27. – EDN NKLSPB.
8. Исследования комбинированного упругого элемента в подвеске автомобиля УАЗ Патриот / Е. Г. Рубцов, П. А. Колядин, В. Ю. Татаринцев [и др.] // Автотракторная отрасль России: проблемы и перспективы : Материалы Всероссийской студенческой научной

конференции, Воронеж, 17 апреля 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 87-100. – DOI 10.58168/RAuIPP2025_87-100. – EDN VJQSCB.

References

1. Pevsner, Ya.M. Pneumatic and hydropneumatic suspensions / Ya.M. Pevsner, A.M. Gorelik – M. : Technique. Technologies. Engineering., 2016. – 19 p.
2. Promising mobile means on ultra-low pressure tires for agricultural production / Z. A. Gojaev, V. I. Pryadkin, P. A. Kolyadin, A.V. Artemov // Tractors and agricultural machinery. – 2022. – Vol. 89, No. 4. – PP. 277-286. – DOI 10.17816/0321-4443-115016. – EDN EHPEDS.
3. Leliovsky, K. Ya. Determination on the stand of the influence of operational defects of gears on the vibration characteristics of gearboxes / K. Ya. Leliovsky, M. G. Korchazhkin // The world of transport and technological machines. – 2025. – № 1-3(88). – Pp. 62-68. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-62-68. – EDN SSEDWY.
4. Leliovsky, K. Ya. Calculation of spectral characteristics of vibrations of transmission elements of vehicles caused by operational damage / K. Ya. Leliovsky, Yu. I. Molev // Bulletin of Civil Engineers. – 2024. – № 1(102). – Pp. 95-103. – DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-1-95-103. – EDN JQCMQS.
5. Pryadkin, V. I. Transport and technological means on ultra-low pressure tires / V. I. Pryadkin, V. Ya. Shapiro, Z. A. Gojaev, S. V. Goncharenko; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, VGLTU. Voronezh, 2019. 492 p. (in Russian)
6. Pryadkin, V. I. Modeling the driving mode of a truck with a combined elastic element in the rear axle suspension / V. I. Pryadkin, A.M. Zavyalov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin, 2020, vol. 4, No. 4(34), pp. 114-119. DOI 10.34220/2311-8873-2021-4-4-114-119. EDN RSBNBV.
7. Experimental assessment of traction qualities of a wide-profile tire / S. D. Zaitsev, L. S. Streblechenko, S. V. Goncharenko, V. I. Pryadkin // Tractors and agricultural machinery. – 2010. – No. 8. – pp. 25-27. – EDN NKLSPB.
8. Research of the combined elastic element in the suspension of the UAZ Patriot car / E. G. Rubtsov, P. A. Kolyadin, V. Y. Tatarintsev [and others] // Automotive industry of Russia: problems and prospects : Proceedings of the All-Russian Student Scientific Conference, Voronezh, April 17, 2025. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2025. pp. 87-100. – DOI 10.58168/RAuIPP2025_87-100. – EDN VJQSCB.

Ларинов М.А.

заместитель руководителя отдела
технологий качества автозавода ООО
«Хавейл Мотор Мануфактуриング Рус»,
РФ

Онищенко Д.О.

доктор техн. наук, профессор кафедры
поршневые двигатели Московского
государственного технического
университета имени Н.Э. Баумана, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова,
РФ

Школьных А.В.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Быстров И.Р.

студент 4 курса автомобильного факультета
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г. Ф. Морозова, РФ

Larionov M.A.

Deputy Head of the Quality Technologies
Department of the automobile plant LLC
«Haval Motor Manufacturing Rus», Russian
Federation

Onishchenko D.O.

Doctor of technical sciences,
professor of the Department of Piston Engines
Bauman Moscow State Technical University,
Russian Federation.

Pryadkin V.I.

Doctor of technical sciences, professor,
department of cars and service, Voronezh
State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Russian
Federation

Shkolnykh A.V.

assistant at the Department of cars and
service, Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov, Russian Federation

Bystrov I.R.

4th year student of the Automobile
Faculty of Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov, Russian Federation

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ЗАВОДАХ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

QUALITY CONTROL IN AUTOMOBILE FACTORIES: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Аннотация. В настоящем исследовании проводится комплексный анализ современных систем контроля качества в автомобильной промышленности, выявляются ключевые проблемные зоны и предлагаются научно обоснованные пути их решения. На основе системного подхода рассматривается трансформация парадигмы контроля качества от реактивного выявления дефектов к их проактивному предотвращению с использованием технологий Индустрии 4.0. Теоретические положения проиллюстрированы практическим кейсом внедрения передовых методик на производственной площадке ООО «Хавейл Мотор Мануфактуриング Рус». Особое внимание уделяется синергетическому эффекту от интеграции роботизированных комплексов, систем машинного зрения и сквозной цифровизации производственного цикла. Результаты работы могут быть применены для совершенствования систем менеджмента качества на предприятиях машиностроительного комплекса.

Abstract. This study provides a comprehensive analysis of modern quality control systems in the automotive industry, identifies key problem areas, and proposes scientifically based solutions.

Using a systems approach, it examines the transformation of the quality control paradigm from reactive defect detection to proactive prevention using Industry 4.0 technologies. The theoretical principles are illustrated with a practical case study of implementing advanced techniques at the production site of Haval Motor Manufacturing Rus LLC. Particular attention is paid to the synergistic effect of integrating robotic systems, machine vision systems, and end-to-end digitalization of the production cycle. The results of this study can be applied to improving quality management systems at mechanical engineering enterprises.

Ключевые слова: контроль качества, автомобильестроение, Индустрия 4.0, цифровой двойник, машинное зрение, роботизированные комплексы, предиктивная аналитика, система менеджмента качества, производственные процессы, дефектоскопия, интеллектуальное производство, сквозная прослеживаемость.

Keywords: quality control, automotive industry, Industry 4.0, digital twin, machine vision, robotic systems, predictive analytics, quality management system (QMS), production processes, flaw detection, intelligent manufacturing, end-to-end traceability.

Введение

Автомобилестроение, являясь одним из ключевых сегментов мировой промышленности, характеризуется исключительной сложностью производимой продукции и высочайшими требованиями к ее надежности и безопасности. В этой связи система контроля качества трансформируется из вспомогательной производственной функции в стратегический актив, непосредственно влияющий на конкурентоспособность и устойчивость компании [1]. Современный этап развития отрасли сопровождается рядом системных вызовов, которые не могут быть решены в рамках традиционных подходов к качеству, что актуализирует необходимость разработки новых, научно обоснованных моделей и методик.

Цель исследований – выполнить ретроспективный анализ технологий контроля качества сборки автомобилей на современных заводах.

Материалы и методы

Проведен анализ литературных источников путем применения историко-аналитического метода. Объекты исследований – литературные источники по современным методам контроля качества автомобилей на ведущих зарубежных и отечественных заводах.

Результаты и обсуждения

Основными вызовов в области контроля качества в автомобилестроении являются: эскалация сложности продукта и процессов; риски глобализированных цепочек поставок; ограничения традиционных систем контроля.

Современный автомобиль представляет собой мехатронную систему, интеграция в которой механических, электронных и программных компонентов создает новые, трудно прогнозируемые риски качества. Тренд на кастомизацию приводит к росту вариативности сборки, многократно усложняя задачу стандартизации контрольных операций [2].

Децентрализация производства и зависимость от множества внешних поставщиков создают значительные риски в обеспечении однородного входного качества компонентов. Как отмечают российские эксперты, несвоевременное выявление дефекта в поставке может привести к каскадным сбоям и масштабным рекламационным кампаниям [3].

Несмотря на автоматизацию, сохраняется зависимость от человеческого фактора на участках окончательного контроля. Субъективность визуальной оценки, утомляемость оператора и высокая скорость конвейера являются источниками ошибок второго рода, когда дефект не идентифицируется [4].

Одним из перспективных направлений совершенствования систем контроля качества на обозначенные вызовы является: концепция интегрированной системы контроля качества основанной на технологиях Индустрии 4.0.

Внедрение систем машинного зрения и искусственного интеллекта. Даные технологии позволяют перейти от выборочного визуального контроля к 100% автоматизированному анализу критически важных параметров. Алгоритмы глубокого обучения способны не только детектировать отклонения, но и классифицировать их, выявляя корреляции с параметрами технологического процесса [5].

Разворачивание инфраструктуры Интернета вещей и предиктивной аналитики. Оснащение производственного оборудования сенсорами и средствами сбора данных в реальном времени формирует основу для перехода от планово-предупредительного обслуживания к предиктивному. Анализ данных о вибрации, температуре и износе инструмента позволяет прогнозировать отказы и предотвращать выпуск ненадлежащей продукции [1].

Применение методологии цифрового двойника (DigitalTwin). Создание виртуальной цифровой копии физического продукта и производственной линии открывает возможности для проактивного управления качеством. Цифровой двойник позволяет проводить симуляцию производственных процессов, оптимизировать их и моделировать последствия изменений, минимизируя риски на этапе реального производства [2].

В России накоплен не малый опыт по контролю качества на сборочном производстве автомобильного завода ООО «Хавейл Мотор Мануфактулинг Рус». Проверка качества осуществляется на каждой производственной линии, которые оснащены так называемыми воротами в будущее, или контрольными точками, где проверяется полнота и качество выполнения данного этапа производства. Уже готовый автомобиль проходит полный цикл испытаний, где проверяются все его системы, качество сборки, герметичность кузова, работа подвесок и управляемость.

Внедренные роботизированные комплексы позволяют обеспечить стабильности геометрии кузова (рис. 1).



Рисунок – 1 Роботизированная установка для замера сварочных деталей кузова на заводе Haval

На участке сварки кузова функционирует более 100 роботизированных комплексов (рис 2), обеспечивающих повторяемость операций с точностью до 0,5 мм. Это позволяет гарантировать соблюдение проектных параметров, что является фундаментом для последующих этапов сборки и корректной работы всех систем автомобиля.

Автоматизированный оптический контроль. На критически важных участках, таких как контроль сварных швов, качества лакокрасочного покрытия и правильности установки стекол, используются системы машинного зрения (рис. 3). Данные системы осуществляют 3D-сканирование и сравнение полученной модели с цифровым эталоном, что исключает субъективность и повышает надежность дефектоскопии.



Рисунок 2 – Роботизированные комплексы сварки кузова

Сквозная идентификация и прослеживаемость движения каждой детали обеспечивает высокий уровень контроля за поставляемыми комплектующими на сборочное производство. Внедрение системы RFID-меток на каждой единице продукции и основных узлах создает основу для сквозной прослеживаемости (рис. 4). В случае выявления несоответствия в партии компонентов система обеспечивает оперативную идентификацию всех транспортных средств, что позволяет минимизировать издержки и реализовать точечные корректирующие действия.

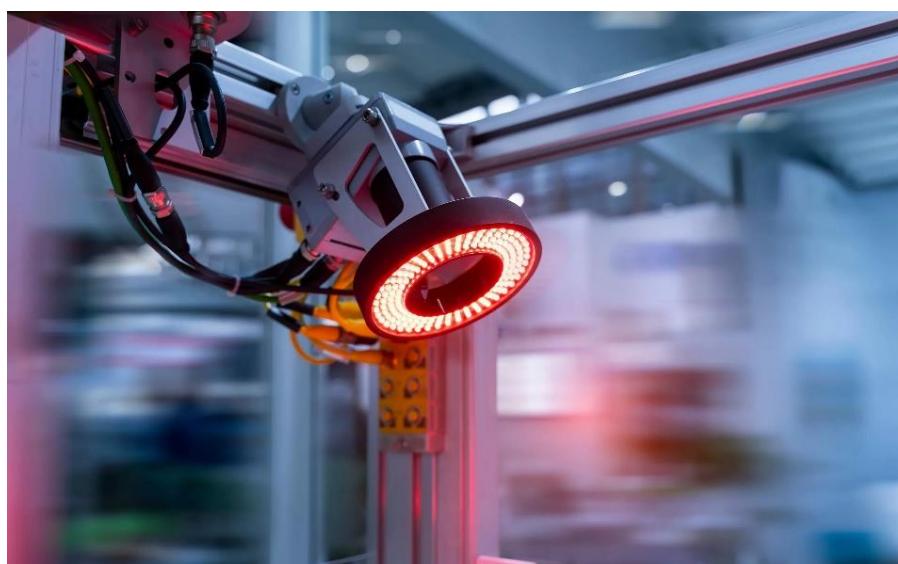


Рисунок 3 – Система машинного зрения



Рисунок 4 – QR-код на поршне автомобиля Haval Dargo

Двигатели собирают так же на заводе, моторный цех расположен на территории предприятия. Все собранные на заводе двигатели обязательно проходят «горячий тест»: к мотор-стенду подключается топливопровод, проводка и патрубки охлаждения и производится первый запуск, имитирующий работу в реальных условиях эксплуатации. Операторы снимают силовые показатели двигателей и сравнивают результаты испытания с эталонными. После этого мотор отправляется на склад готовой продукции, а затем поступает в цех сборки для установки на автомобиль.

После завершения сборки проводится финальная проверка готового автомобиля. Это включает в себя проверку всех систем, ходовых качеств, а также внешнего вида автомобиля. В световом туннеле осуществляется тщательный контроль внешнего вида автомобиля. Стоящие поодаль экземпляры визуально осматривают качество окрашенных поверхностей автомобилей и при необходимости мелом выделяют бракованными местами на кузове (рис. 5).

В ходе «дождевого теста» имитируются экстремальные погодные условия для проверки герметичности кузова. Автомобиль в течение четырех минут движется на конвейере сквозь дождевую камеру, где на него из множества форсунок под давлением подается большой объем воды (рис. 6). После сушки контролеры осматривают все внутренние полости кузова на герметичность. После каждой операции проводится операционный контроль качества. Это позволяет выявлять и устранять дефекты на ранних стадиях производства.



Рисунок 5 – Прохождение автомобиля через световой тоннель



Рисунок 6 – Прохождение автомобилем «дождевого теста»

Если после прохождения "дождевого теста" выявлено запотевание фары, то есть имеет место не герметичность корпуса. Контролеры снимают фару, производят её визуальный осмотр, далее проверяют на герметичность (рис.7-8). По результатам теста оформляется претензию поставщику и производится отзыв всей партии запчастей.



Рисунок 7 – Визуальный осмотр фары



Рисунок 8 – Проверка герметичности фары в ванне

После прохождения автомобилем заключительного теста, была выявлена неисправность рулевого механизма, которая заключается в повышенном шуме от червячной пары электроусилителя. Данный усилитель демонтируется с автомобиля и подвергается разборке, с целью выявления дефекта (рис 9). Отделом контроля качества составляется претензия к поставщику электроусилителей, как следствие отзыв всей партии.

В процессе сборки осуществляется контроль качества сборки всех узлов, что включает проверку правильности установки всех элементов, а также отсутствие дефектов и повреждений.

На заключительном этапе каждый автомобиль проходит проверку на управляемость, ходовые свойства и эффективность тормозов на собственном полигоне. На испытательном полигоне, где можно тестировать автомобили как

на ровном асфальте, скользкой и мокрой дороге, так и на искусственных неровностях и гравии, спусках и подъемах (рис. 10).



Рисунок 9 – Разборка электроусилителя и поиск неисправности

Также проводятся испытания динамики и экстренного торможения, тесты двигателя, трансмиссии и подвески, апробация электронных систем. Делается все, чтобы максимально адаптировать кроссоверы Haval к российской эксплуатации. В процессе сборки осуществляется контроль качества сборки всех узлов, что включает проверку правильности установки всех элементов, а также отсутствие дефектов и повреждений.

На заключительном этапе каждый автомобиль проходит проверку на управляемость, ходовые свойства и эффективность тормозов на собственном полигоне (рис. 10).



Рисунок 10 – Испытания ходовой части автомобиля при движении по единичным неровностям

На испытательном полигоне, где можно тестировать автомобили как на ровном асфальте, скользкой и мокрой дороге, так и на искусственных неровностях и гравии, спусках и подъемах. Также проводятся испытания динамики и экстренного торможения, тесты двигателя, трансмиссии и подвески, аprobация электронных систем. Делается все, чтобы максимально адаптировать кроссоверы Haval к российской эксплуатации.

Автомобили прошедшие все стадии контроля отправляются на площадку отгрузки в торговый дом, а далее их поставляют официальным дилерам для реализации конечному потребителю.

Выводы

Современная парадигма контроля качества в автомобилестроении претерпевает фундаментальные изменения. На смену изолированным проверкам на конечном этапе приходит интегрированная, система, встроенная в каждый элемент производственного цикла. Практическая реализация предложенных решений, как демонстрирует завод Haval, позволяет достичь синергетического эффекта: повысить стабильность качества, снизить операционные издержки и минимизировать репутационные риски. Дальнейшие совершенствование контроля качества сборки автомобилей целесообразно направить на разработку адаптивных алгоритмов с искусственным интеллектом для прогнозирования дефектов и интеграции цифровых двойников в системы менеджмента качества в реальном времени.

Список литературы

1. Адлер, Ю.П., Полковникова, Н.В. (2021). Статистическое управление технологическими процессами в условиях Industry 4.0. М.: ИНФРА-М. – 215 с.)
2. Deming, W.E. (2019). Out of the Crisis. – MIT Press. – 450 p.
3. Иванов, В.А., Смирнов, Е.В. (2022). Цифровые двойники в промышленном производстве. СПб.: Питер. – 188 с.
4. Juran, J.M., & De Feo, J.A. (2020). Juran's Quality Planning and Analysis for Enterprise Quality. – McGraw-Hill Education. – 585 p.
5. Shewhart, W.A. (2021). Economic Control of Quality of Manufactured Product. – Martino Fine Books. – 998 p.
6. Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2021). Taguchi's Quality Engineering Handbook. – John Wiley & Sons. – 1176 p.

References

1. Adler, Yu. P., Polkovnikova, N. V. (2021). Statistical Process Control in Industry 4.0. Moscow: INFRA-M. – 215 p.
2. Deming, W. E. (2019). Out of the Crisis. MIT Press. – 450 p.

3. Ivanov, V. A., Smirnov, E. V. (2022). Digital Twins in Industrial Production. St. Petersburg: Piter. – 188 p.
4. Juran, J. M., & De Feo, J. A. (2020). Juran's Quality Planning and Analysis for Enterprise Quality. McGraw-Hill Education. – 585 p.
5. Shewhart, W. A. (2021). Economic Control of Quality of Manufactured Product. Martino Fine Books. – 998 p.
6. Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2021). Taguchi's Quality Engineering Handbook. – John Wiley & Sons. – 1176 p.

Ларионов М.А.

заместитель руководителя отдела технологий
качества автозавода ООО «Хавейл Мотор
Мануфактулинг Рус», РФ

Татаринцев В.Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Федорин Ф.Д.

студент 4 курса автомобильного факультета
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г. Ф. Морозова, РФ

Сотников Д.А.

студент 4 курса автомобильного факультета
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г. Ф. Морозова, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Larionov M.A.

Deputy Head of the Quality Technologies
Department of the automobile plant LLC «Haval
Motor Manufacturing Rus», Russian Federation

Tatarintsev V.Yu.

assistant of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Fedorin F.D.

4th year student of the Automobile
Faculty of Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov, Russian Federation

Sotnikov D.A.

4th year student of the Automobile
Faculty of Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov, Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doktor of technical sciences, professor,
department of cars and service, Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov, Russian Federation

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ**ELECTRONIC VEHICLE SAFETY SYSTEMS**

Аннотация. В статье рассматриваются электронные системы безопасности автомобилей марки HAVAL, а именно: HAVAL DARGO, TANK 300 и TANK 500. Так современный блок электронных систем безопасности автомобилей состоит из двух групп: основных и дополнительных систем. Приведены назначение и принцип действия таких систем, перспективы их применения в современных автомобилях и особенности конструкций данных систем.

Abstract. The article discusses the electronic safety systems of HAVAL brand cars, namely HAVAL DARGO, TANK 300 and TANK 500. Thus, the modern block of electronic car safety systems consists of two groups: basic and additional systems. The purpose and principle of operation of such systems, prospects of their application in modern cars and design features of these systems are given.

Ключевые слова: автомобиль, электронные системы, системы безопасности, адаптивные системы, HAVAL, ADAS, безопасность.

Keywords: car, electronic systems, safety systems, adaptive systems, HAVAL, ADAS, safety.

Введение

Раньше безопасность автомобиля включала в себя только пассивные системы безопасности: подушки безопасности, ремни и прочный кузов. Данные решения могли спасти водителя и пассажиров при аварии. Сегодня подход к безопасности изменился, теперь предотвращение столкновения является приоритетной задачей. В автомобиле за это отвечают системы активной безопасности, которые с помощью датчиков и камер контролируют ситуацию на дороге и помогают избежать опасности водителю.

Компания Great Wall Motor не отстает от мировой тенденции и постепенно внедряет в автомобили все больше помощников и ассистентов вождения. Автомобили GWM оснащены продвинутыми электронными системами, делающими автомобиль безопаснее и значительно упрощая эксплуатацию автомобиля. Наличие данных функций позволяет водителю чувствовать себя увереннее за рулем автомобиля, не зависимо от водительского стажа.

Несмотря на обилие моделей компании GWM в продаже, в технической литературе и научных публикациях ощущается дефицит систематизированной информации, детально раскрывающей особенности оснащения их электронными системами безопасности. В данной статье будут рассмотрены электронные системы безопасности, которыми оснащаются современные автомобили компании. Для примера рассмотрим автомобили TANK 300, TANK 500 и HAVAL DARGO, которые представлены на российском рынке автомобилей (рис. 1).



а – Автомобиль TANK 300; б – Автомобиль TANK 500; в – Автомобиль HAVAL DARGO

Рисунок 1 – Автомобили марки HAVAL

Электронные системы безопасности автомобилей делятся на две основные группы: основные и дополнительные системы (рис. 2).

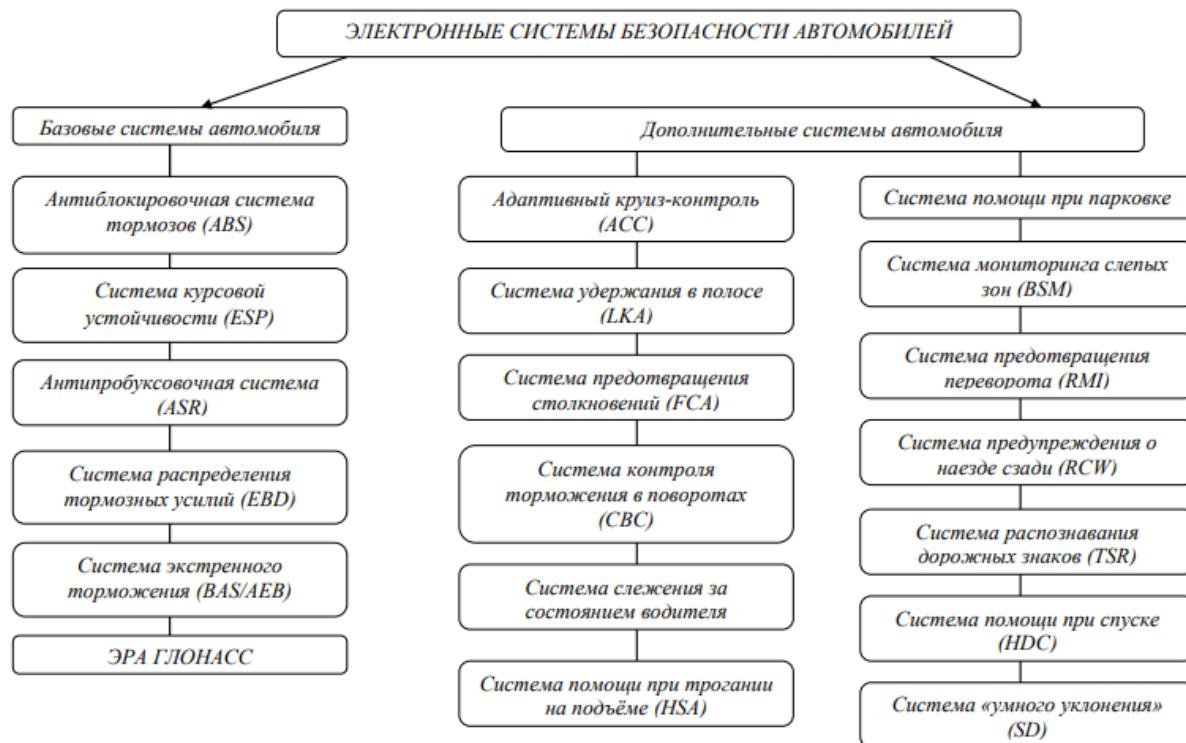


Рисунок 2 – Электронные системы безопасности автомобилей

Антиблокировочная система ABS

Основой большинства систем безопасности современных автомобилей является антиблокировочная система ABS (рис. 3). Эта система предотвращает блокировку колес во время торможения. Принцип ее работы заключается в автоматическом ослаблении давления тормозной жидкости в магистрали скользящего колеса, позволяющем колесу вновь вращаться, из-за чего автомобиль снова становится управляемым.



Рисунок 3 – Принцип работы системы ABS

Система распределения тормозных усилий автомобиля EBD

Система распределения тормозных усилий автомобиля EBD предотвращает блокировку задних колес автомобиля, управляя тормозным усилием на этих колесах (рис. 4). Эта Система имеет схожее устройство с системой ABS. Электронный блок управления получает информацию с различных датчиков (частоты вращения колес автомобиля, давления тормозной жидкости) и в начале торможения, дает сигнал гидравлическому блоку повысить давления тормозной жидкости в контурах сначала на передней оси автомобиля, а затем на задней. Благодаря этому, передние колеса начинают торможение чуть раньше задних, что исключает его занос и опрокидывание.

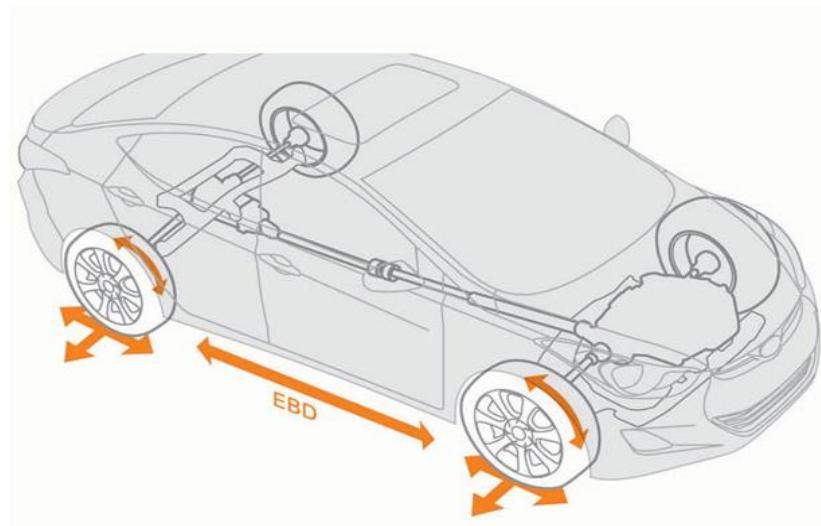


Рисунок 4 – Принцип работы системы EBD

Антипробуксовочная система TCS

Антипробуксовочная система TCS (рис. 5) – система автомобиля, предотвращающая потерю сцепления колёс с покрытием, контролируя буксование ведущих колёс.

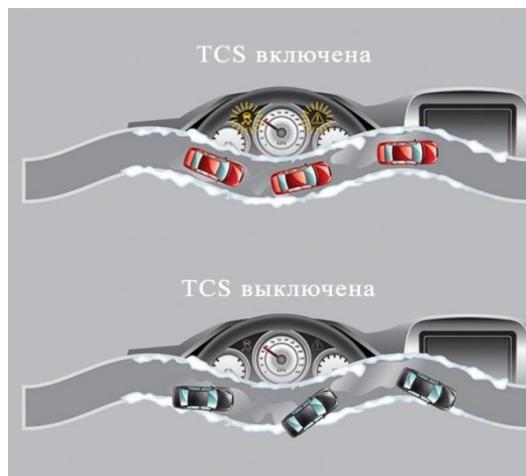


Рисунок 5 – Принцип работы системы TCS

Принцип ее работы схож с принципом работы ABS, но работает при ускорении автомобиля. Используя тормозные механизмы и/или управление двигателем, система максимизирует тягу на скользких участках дороги [1].

Система электронной стабилизации ESP

Активная система безопасности автомобиля ESP посредством изменения момента силы колеса предотвращает занос автомобиля, выравнивая его по направлению передних колес (рис. 6). Блок управления собирает информацию от датчиков вращения колес положения рулевого колеса, а также с датчика по-перечного и продольного ускорения автомобиля. При обработке этих данных они сравниваются с критическими значениями, при превышении которых программа, посредством управления системами подачи топлива и тормозами автомобиля, начнет выравнивать его траекторию. ESP создает момент, направленный в противоположную нежелательному разворачивающему моменту сторону, подтормаживая отдельные колеса. Таким образом автомобиль стабилизируется в прямом положении по датчику положения рулевого колеса. Если этих действий недостаточно, система изменяет крутящий момент двигателя [2].

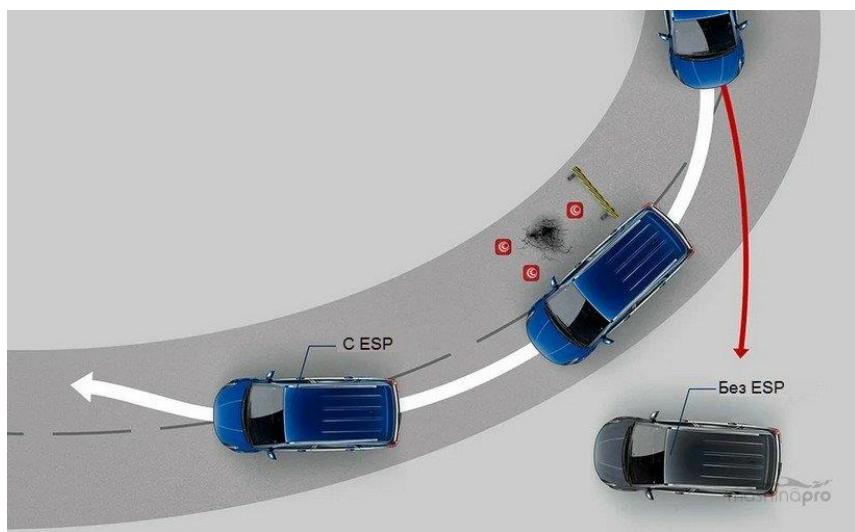


Рисунок 6 – Принцип работы системы ESP

Система экстренного торможения автомобиля BAS

Система помощи при экстренном торможении автомобиля BAS – следующая часть активной системы безопасности, которая помогает водителю в движении, предотвращая дорожно-транспортные происшествия.

BAS обеспечивает быстрое срабатывание тормозных механизмов при выявлении опасности (рис. 7). При резком нажатии на педаль тормоза, система

подключает электромагнитный привод штока усилителя и обеспечивает наибольшее усилие, для более эффективного торможения [3].

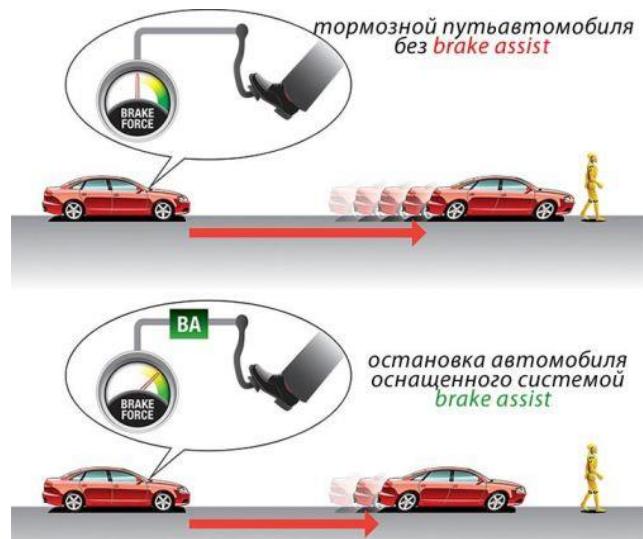


Рисунок 7 – Принцип работы системы BAS

Электронный комплекс систем ADAS

Современный модельный ряд автомобилей GWM сложно представить без электронного комплекса Advanced Driver Assistance System (ADAS) (рис. 8). В основе системы лежит работа камер, радаров и ультразвуковых датчиков, повышающая безопасность движения автомобиля и комфорт управления им.

Большинство автомобилей Haval, производящихся на заводе в России, оснащены системами ADAS. Это может быть, как полный комплекс систем, так и отдельные функции, зависящие от комплектации. TANK, как более премиальный бренд GWM, предлагает более широкий набор систем ADAS.

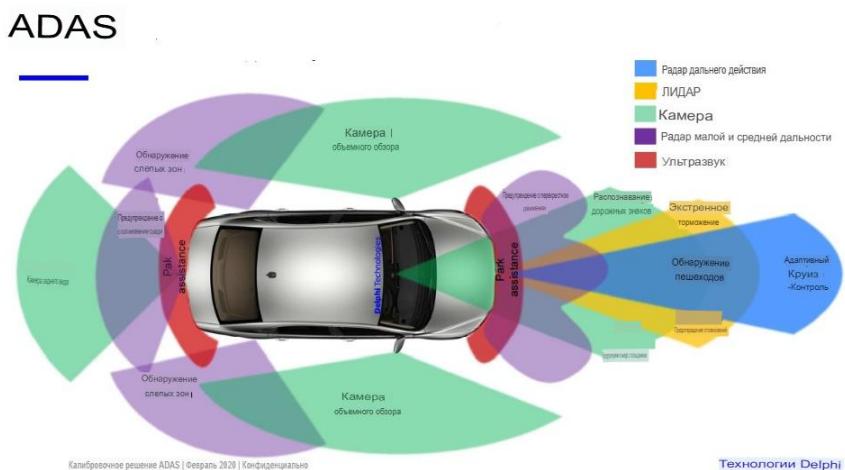


Рисунок 8 – Интеллектуальный щит: активные помощники (ADAS)

Адаптивный круиз-контроль ACC

Одной из ключевых функций электронной системы ADAS является адаптивный круиз-контроль ACC. Он поддерживает скорость, выбранную водителем и поддерживает дистанцию до впереди идущего автомобиля (рис. 9). Система ACC реагирует на изменения ситуации на дороге с помощью камер и радаров. В комбинации с системой предупреждения столкновений, ACC может снизить количество экстренных торможений на автомагистралях до 67 % [4] в максимальных комплектациях используется Адаптивный круиз-контроль с функцией интеллектуального круиз-контроля ICA с функцией ассистента движения в пробке TJA.



Рисунок 9 – Адаптивный круиз-контроль ACC

Автоматическая система торможения AEB

В максимальных комплектациях автомобилей GWM используется автоматическая система торможения AEB с функцией предупреждения о возможном столкновении при движении вперед FCW, функцией распознавания пешеходов и велосипедистов, а также автоматического торможения на малой скорости (рис. 10). С помощью датчиков система анализирует дорожную обстановку, определяя скорость и расстояние до препятствия. При подтверждении наличия аварийной ситуации, система информирует водителя о необходимости принятия мер. При игнорировании водителем сигналов, система включает торможение самостоятельно. При активном маневрировании система понимает, что водитель обезжает препятствие и отключается. В максимальных комплектациях автомобиля система расширена функцией предотвращения столкновений при проезде перекрестков AEB Crossroad. Это функция предотвращения столкнове-

ний на перекрестках, помогающая избежать аварии или смягчить ее последствия на перекрестках с интенсивным движением

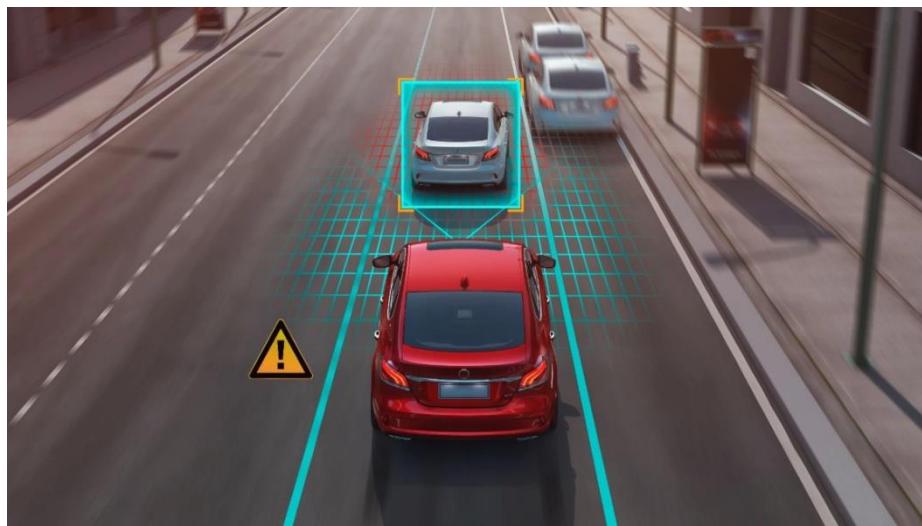


Рисунок 10 – Автоматическая система торможения АЕВ

Система удержания в полосе LKA

На автомобили HAVAL устанавливается система удержания в полосе LKA (рис. 11), а на автомобили TANK ставится более расширенная версия этой системы (LDW+LKA+LCK) – Система предупреждения о выходе из полосы движения с функциями возврата в полосу и удержания в центре полосы.

Обе этих системы видят разметку через камеры, и при обнаружении не-преднамеренного съезда с полосы, возвращают автомобиль в полосу движения, снижая риск выезда на обочину или встречную полосу.

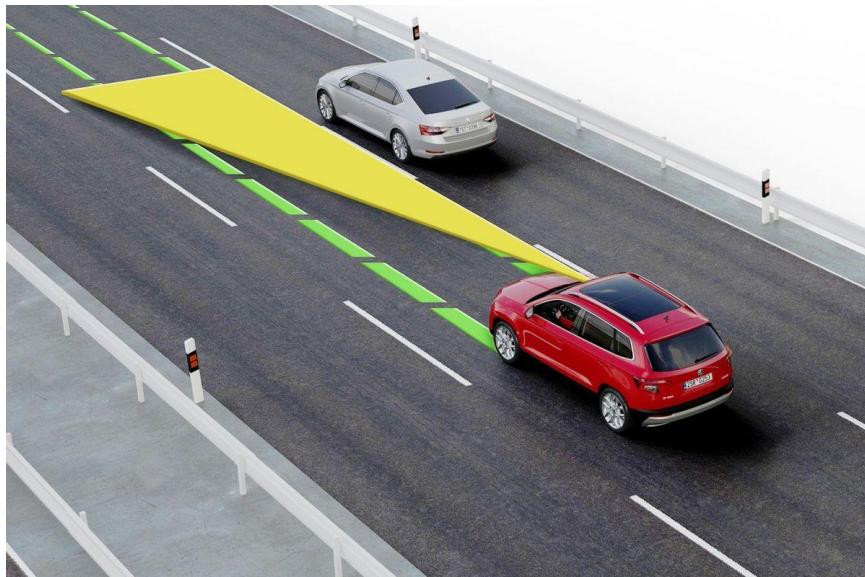


Рисунок 11 – Система удержания в полосе LKA

Система контроля усталости водителя

В связи частотой аварий из-за усталости водителя в 20 веке была разработана интеллектуальная система контроля усталости водителя, работающая по критериям движения автомобиля и контролю водителя (рис. 12). Контроль движения системой автомобиля заключался в отслеживании траектории движения и допустимых скоростей. При отклонении водителем от нормы подается звуковой сигнал и уведомление о необходимости отдыха. Контроль водителя анализирует отклонения в его поведении относительно его нормального состояния и так же сигнализирует об опасности [5].



Рисунок 12 – Система контроля усталости водителя

Системы помощи при трогании на подъёме и спуске

Еще одной системой безопасности автомобиля является Система помощи при трогании на подъёме HSA (рис. 13). Она помогает водителю начать движение без скатывания назад на подъёме без ручного тормоза. Суть работы системы заключается в том, что при ее активации тормоз не отпускает колёса сразу, алишь через 3-5 секунд, что позволяет водителю плавно перенести ногу на педаль газа.

В дополнение к этой системе существует система с противоположной функцией – Система управления торможением при движении на спуске. HDS помогает водителю при спуске с крутого склона. Система автоматически приводит в действие тормозные механизмы, тем самым поддерживая значения скорости ниже определенного уровня, что позволяет водителю при спуске со склона сконцентрироваться на управлении автомобилем. Система не работает при выключенном двигателе.

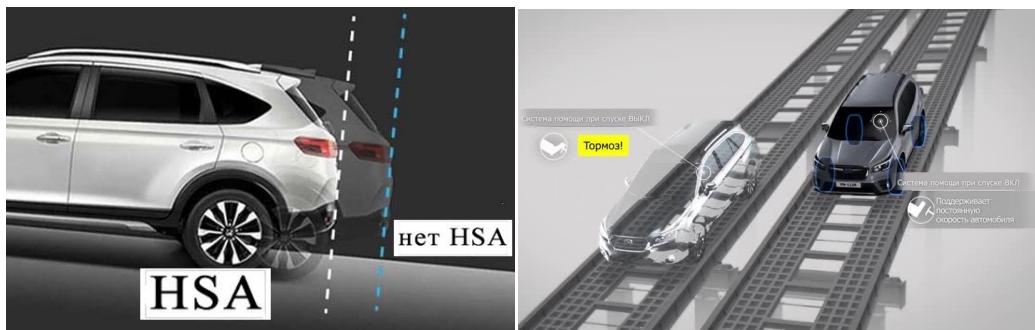


Рисунок 13 – Системы помощи при трогании на подъеме HSA (слева) и спуске HDC (справа)

Парковочные системы автомобилей GWM

Парковочные системы автомобилей делятся на две группы – активные и пассивные. Пассивные системы лишь информируют водителя об опасностях, оставляя за ним принятие решений и маневрирование автомобилем. Активные системы осуществляют управление и движение автомобиля без вмешательства водителя (рис. 14). На первом этапе автомобиль ищет место для парковки с помощью ультразвуковых датчиков и сравнивает доступное пространство с габаритами самого автомобиля. На втором этапе автомобиль самостоятельно выполняет парковку. Встроенный компьютер системы отправляет указания системам, выполняющим тот или иной маневр. Для работы к системе подключен электромотор, имеющий доступ к электрическому усилиению руля. При необходимости, переход от автоматического режима к ручному возможен в любой момент [6]. Так же в дополнение этой системе существует система помощи при выезде с парковки задним ходом (RCTA) с функцией торможения (RCTB).

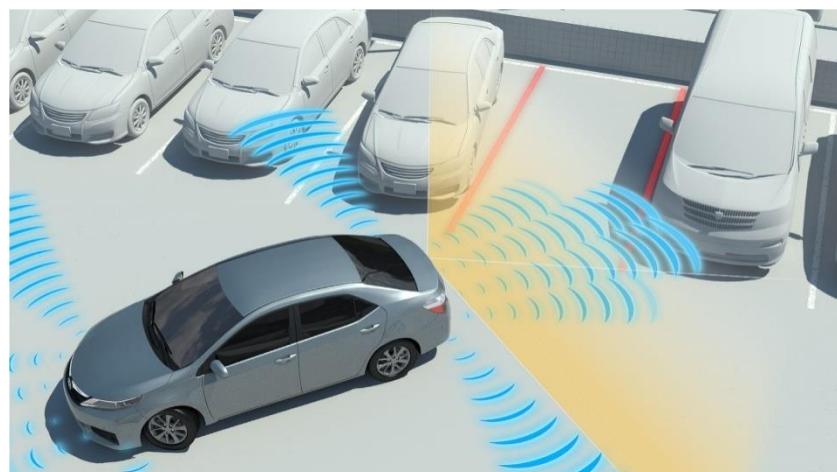


Рисунок 14 – Парковочные системы автомобилей

Прочие активные системы безопасности

Так же в автомобилях GWM используются на первый взгляд простые и незаметные системы, на самом деле сильно повышающие безопасность водителя и пассажиров. Такие системы как ограничитель скорости, индикатор не пристёгнутого ремня, индикатор давления в шинах, датчики открытия дверей, различные камеры и датчики по периметру автомобиля, Камера кругового обзора с функцией "прозрачного" капота, позволяющая видеть препятствия даже тогда, когда они находятся в непосредственной близи переднего бампера и скрыты от глаз водителя за капотом, упрощают управление автомобилем, делая этот процесс более приятным и безопасным для водителя.

Система «ЭРА-ГЛОНАСС»

Обязательной системой безопасности всех автомобилей в России является система «ЭРА-ГЛОНАСС» (рис. 15) включающая в себя навигационно-информационную платформу, сеть сотовой связи, сеть передачи данных и устройства, которые устанавливаются в автомобили. В случае аварии устройство, которое находится в автомобиле оценивает степень тяжести ДТП, определяет местоположение транспортного средства через спутники системы ГЛОНАСС или GPS и передаёт необходимые данные о происшествии, устанавливая связь с инфраструктурой «ЭРА-ГЛОНАСС». К ситуациям, которые способна распознавать система относятся фронтальное столкновение, боковое столкновение, а также удар сзади. Сигнал об аварии, имеет приоритетный статус и передается через любого оператора сотовой связи, в зависимости мощности сигнала оператора. При перегрузке сети телефонными звонками, сигнал ЭРА-ГЛОНАСС является приоритетным. Вызов также можно совершить вручную нажатием кнопки SOS на устройстве в автомобиле. В этом случае оператор контакт-центра «ЭРА-ГЛОНАСС» уточнит детали происшествия и направит службы экстренного реагирования при подтверждении информации или при отсутствии ответа [7].

Данный перечень систем является базовым для автомобилей GWM. Вышеперечисленными системами комплектуются все три рассматриваемых автомобиля в базовых комплектациях [8]. Далее приведены системы, устанавливающиеся в более дорогие комплектации и являющиеся индивидуальными для каждого из автомобилей, рассмотренных в данной статье.



Рисунок 15 – Система «ЭРА-ГЛОНАСС»

Дополнительные системы безопасности, устанавливаемые в автомобили HAVALDARGO максимальных комплектаций

Система мониторинга слепых зон BSM

BSM – система мониторинга слепых зон в автомобиле, применяющаяся в расширенных комплектациях Haval Dargo. Она входит в комплекс ADAS и предназначается для помощи водителю на дороге при перестроении.

Система работает на радарных датчиках, которые излучают электромагнитные волны в слепые зоны автомобиля. При обнаружении автомобиля в зоне действия датчиков, отражающиеся от него волны возвращаются на датчик. Далее ЭБУ анализирует этот сигнал: с помощью времени задержки рассчитывается расстояние до объекта, а по доплеровскому сдвигу частоты — его относительная скорость. При обнаружении системой потенциальной опасности при перестроении, она информирует водителя с помощью светового индикатора в зеркалах бокового вида (рис. 16). Система BSM активна при движении вперёд со скоростью выше 10 км/ч.

Система предотвращения переворота автомобиля RMI

Система предотвращения переворота автомобиля RMI — это система активной безопасности, которая предотвращает опрокидывание автомобиля в результате резких маневров или поворотов на высокой скорости. Она работает в связке с системой курсовой устойчивости ESC, отслеживая скорость движения,

угол поворота руля и центробежные силы, и вмешивается, чтобы не допустить опасного крена кузова, используя тормозную систему и управляя крутящим моментом двигателя.

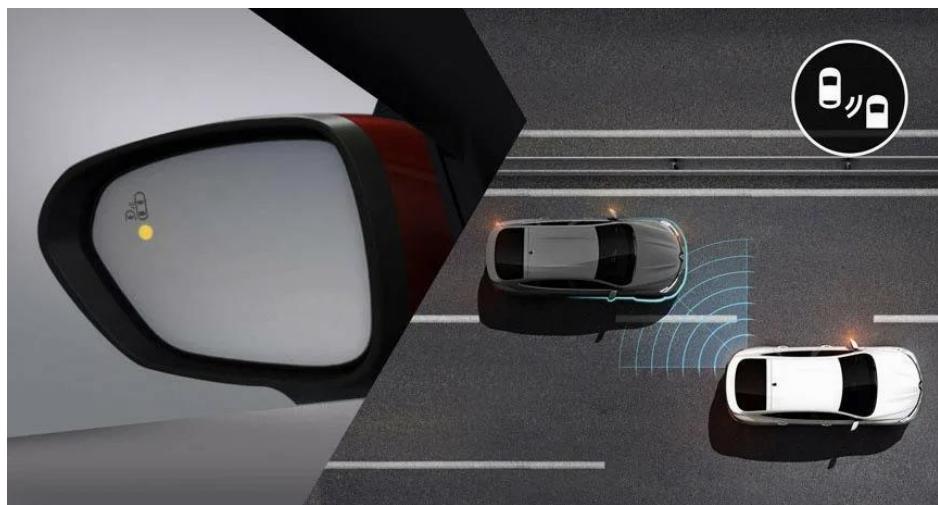


Рисунок 16 – Система мониторинга слепых зон BSM

Система контроля торможения в поворотах CBC

Система контроля торможения в поворотах CBC — это система, повышающая устойчивость автомобиля при торможении на поворотах. Перераспределяя между колесами тормозное усилие, компенсируя тем самым рыскание и предотвращая блокировку колес, она стабилизирует автомобиль. CBC является усовершенствованной версией ABS, которая работает вместе с другими электронными системами безопасности.

Системы безопасности, входящие в максимальные комплектации автомобилей TANK

В автомобилях TANK, дополнительно к базовым системам ADAS применяются системы:

Система предупреждения о наезде сзади RCW

Система предупреждения о наезде сзади RCW (рис. 17), предупреждающая водителя о риске столкновения с другими транспортными средствами, движущимися сзади. Система может принять ряд мер для предотвращения столкновения. В зависимости от типа системы, она может мигать аварийными огнями, подавать сигналы другим участникам движения, а в некоторых случаях применять экстренное торможение автоматически.

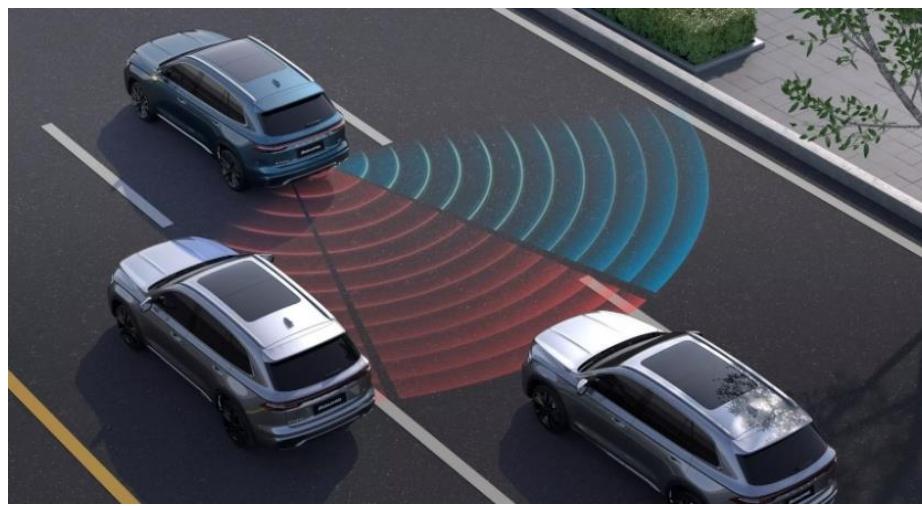


Рисунок 17 – Система предупреждения о наезде сзади RCW

Система распознавания дорожных знаков TSR

Система распознавания дорожных знаков TSR работает с помощью камеры, считывающей дорожные знаки и выводит эту информацию перед водителем на дисплей, помогая ему оставаться в правовом поле (рис. 18).

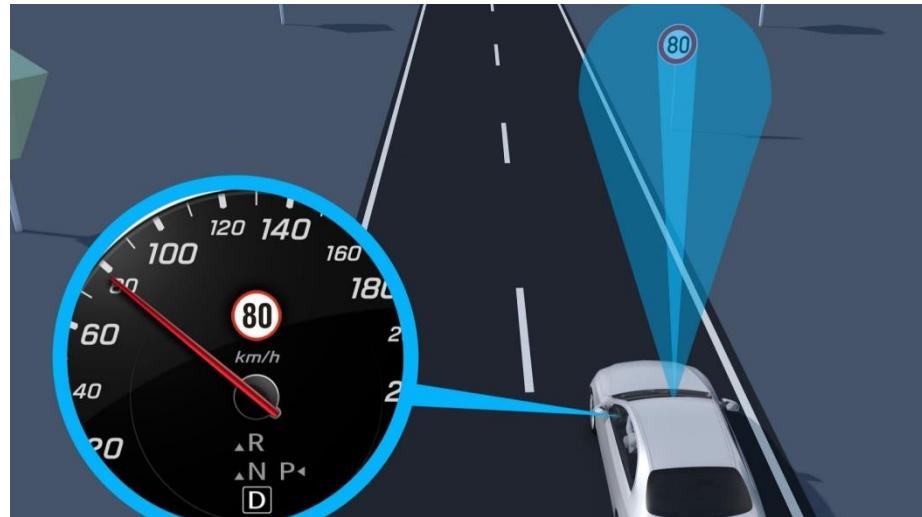


Рисунок 18 – Система распознавания дорожных знаков TSR

Система «умного уклонения» Smart Dodge

Автомобиль, оборудованный системой «умного уклонения» Smart Dodge, использует набор датчиков, постоянно сканирующих пространство вокруг транспортного средства (рис. 19). В случае обнаружения угрозы, система сначала предупреждает водителя сигналом на панели приборов, а вслучае, если водитель не реагирует на предупреждения, система SmartDodge самостоятельно начинает маневр уклонения, включающий в себя изменение траектории движе-

ния и иногда легкое торможение для избежания столкновения. После завершения маневра Smart Dodge помогает вернуть автомобиль на безопасную траекторию.



Рисунок 19 – Система «умного уклонения» Smart Dodge

Краш-тесты автомобилей TANK 300 и TANK 500

Австралийская компания по оценке безопасности автомобилей ANCAP, являясь независимой организацией, проверила безопасность нового рамного внедорожника TANK 300 в краш-тестах. В тестах принимала участие право-рульная версия машины для рынка Австралии, которая показала максимальный результат — пять звезд [9].

Эксперты провели три краш-теста: боковой удар с разной величиной контакта и фронтальный удар.

Специалисты ANCAP высоко оценили защиту водителя и пассажиров, поставив этому аспекту 88%. Для детей цифры чуть выше — 89%. Не обошлось без внимания и уязвимых участников дорожного движения (пешеходов, велосипедистов), для которых автомобиль набрал 81% (рис. 20). А вот системы помощи водителю, например, экстренного торможения, заслужили 85%. Если рассмотреть интересующие нас системы активной безопасности, то мы увидим следующее. Tank 300 оснащен системой автономного экстренного торможения AEB, которая в тестах показала отличные результаты. Однако, снижение итоговой оценки привело то, что она не проявила должной активности при проверке работы системы при движении задним ходом. К тому же, система не всегда корректно сигнализировала о возможных столкновениях при скорости

свыше 60 км/ч. В результате TANK 300 получил за работу ассистентов безопасности 85%.

TANK 500 стал следующей моделью бренда, которой эксперты ANCAP присудили максимальные пять звезд. За работу электронных ассистентов автомобиль получил 84% [10].

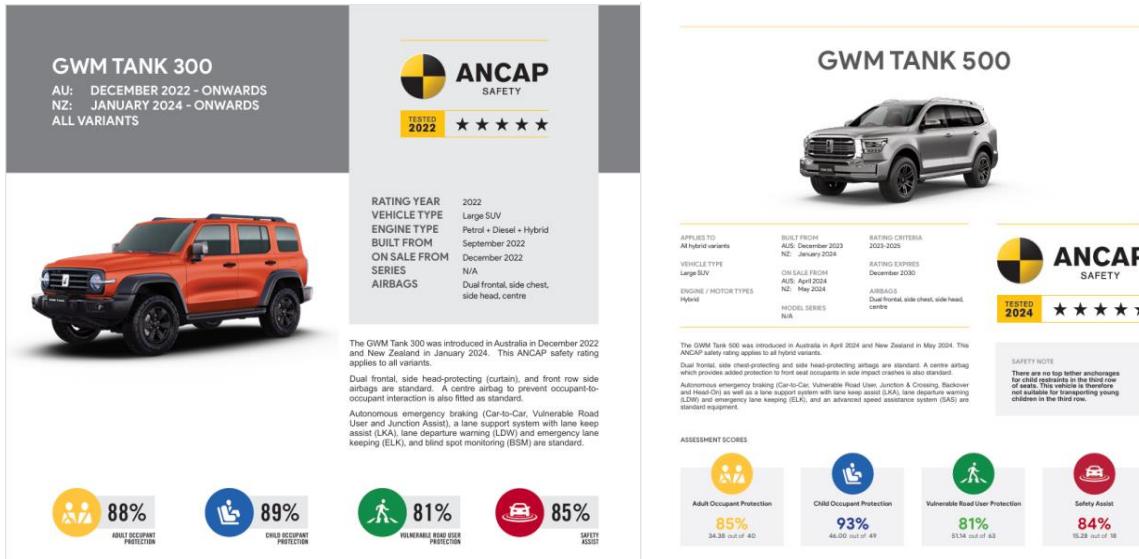


Рисунок 20 – Результаты краш-тестов TANK 300 и TANK 500 от ANCAP

Вывод

Если рассмотреть статистику аварийности на дорогах, с учётом использования электронных систем безопасности на автомобилях, то мы увидим, что системы помощи водителю (ADAS) могут изменять количество аварий и смертельных исходов в меньшую сторону. Исследование американского Страхового института дорожной безопасности (IIHS), показало, что оснащение автомобилей системами автоматического торможения, до 50% снижают вероятность столкновения с другими транспортными средствами [11].

В снижении количества ДТП современные системы безопасности играют огромную роль. Очевидно их влияние на статистику аварийности и снижение летальных исходов при ДТП. Однако важно помнить, что в первую очередь от водителя и его поведения на дороге зависит безопасность всех участников движения. Поэтому, водитель должен всегда оставаться внимательным и сосредоточенным, управляя транспортным средством, даже если в его автомобиле установлены самые современные системы безопасности. Нужно помнить, что безопасность на дорогах начинается с каждого из нас.

Список литературы

1. Тихонов, А. С. Электронные системы активной безопасности автомобиля / А. С. Тихонов // Актуальные вопросы современной науки и инноватики : Сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции, Уфа, 16 июня 2023 года. Том Часть 1. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. – С. 153-157. – EDN XRZAQR.
2. Швалев, С. Г. Устройство и принцип работы системы ESP / С. Г. Швалев // Наука, техника и образование. – 2017. – № 2(32). – С. 51-53. – EDN XXQXXV.
3. Шимутин, А. Е. Активные системы безопасности автомобиля / А. Е. Шимутин, А. А. Войнов // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения) : Сборник статей IX Международной научно-практической конференции, Пенза, 14–15 апреля 2022 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 284-288. – EDN YTETNS.
4. Холченков, О. И. Интеллектуальные системы повышения безопасности дорожного движения / О. И. Холченков, К. С. Кухарев, А. В. Кулев // Молодежь и транспорт. Настоящее и будущее : Материалы III Международной молодежной конференции, Орёл, 30 апреля 2020 года. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2021. – С. 100-109. – EDN DGLLEW.
5. Опенышева, А. В. Интеллектуальная система контроля усталости водителя / А. В. Опенышева // Научный электронный журнал Меридиан. – 2019. – № 15(33). – С. 108-110. – EDN JEUECY.
6. Синицын, Д. Д. Анализ принципа устройства систем автоматической парковки / Д. Д. Синицын // Новая наука: От идеи к результату. – 2016. – № 4-1. – С. 79-81. – EDN VVHEEH.
7. Епхиева, Т. С. Система "ЭРА-ГЛОНАСС" / Т. С. Епхиева, Х. Б. Ногаев, А. А. Явезов // Научно-техническая конференция обучающихся и молодых ученых СКГМИ (ГТУ) "НТК-2017" : сборник докладов по итогам научно-исследовательских работ, Владикавказ, 26–30 апреля 2017 года / Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет). – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2017. – С. 46-48. – EDN YTOFER.
8. masmotors.ru – комплектации и цены автомобилей TANK 300 – URL: <https://www.masmotors.ru/car/tank/300/complectations> (дата обращения 20.11.2025)
9. ancap.com – GWM Tank 300 Safety Ratings – URL: <https://www.ancap.com.au/safety-ratings/great-wall-motors/tank-300/9cd3ff> (дата обращения 22.11.2025)
10. ancap.com – GWM Tank 500 Safety Ratings – URL: <https://www.ancap.com.au/safety-ratings/great-wall-motors/tank-500/62fb09> (дата обращения 22.11.2025)
11. iihs.org – Real-world benefits of crash avoidance technologies – URL: <https://www.iihs.org/research-areas/advanced-driver-assistance> (дата обращения 23.11.2025)

References

1. Tikhonov, A. S. Electronic active vehicle safety systems / A. S. Tikhonov // Actual issues of modern science and innovation : A collection of scientific articles based on the materials of the Second International Scientific and Practical Conference, Ufa, June 16, 2023. Volume Part 1. Ufa: Limited Liability Company Scientific Publishing Center Bulletin of Science, 2023, pp. 153-157. ED. XRZAQR.
2. Shuvalov, S. G. Device and implementation of the ESP system / S. G. Shuvalov // Science, technology and education. – 2017. – № 2(32). – Pp. 51-53. – ISSUE NUMBER XXQXXV.
3. Shimutin, A. E. Active vehicle safety systems / A. E. Shimutin, A. A. Voynov // Transport. Economy. The social sphere (Current problems and their solutions) : Collection of arti-

cles of the IX Scientific and Practical International Conference, Penza, April 14-15, 2022. Penza: Penza State Agrarian University, 2022. PP. 284-288. AND YET IT IS SO.

4. Holchenkov, O. I. Intelligent systems for improving road safety / O. I. Holchenkov, K. S. Kukharev, A.V. Kulev // Youth and transport. Present and Future : Proceedings of the III International Youth Conference, July, April 30, 2020. – Orel: I.S. Turgenev Orel State University, 2021. – pp. 100-109. – EDN DGLU.

5. Openysheva, A.V. Intelligent driver fatigue monitoring system / A.V. Openysheva // Scientific electronic journal Meridian. – 2019. – № 15(33). – PP. 108-110. – VERY STRANGE.

6. Sinitsyn, D. D. Analysis of the principle of automatic parking systems / D. D. Sinitsyn // New science: From idea to result. - 2016. – No. 4-1. – pp. 79-81. – EDN VVHIH.

7. Ephieva, T. S. ERA-GLONASS system / T. S. Ephieva, H. B. Nogaev, A. A. Yavezov // Scientific and technical conference of students and young scientists of SKGMI (GTU) "NTK-2017" : collection of reports on the results of scientific research, Vladikavkaz, April 26-30, 2017 year / North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University). Vladikavkaz: North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University), 2017. pp. 46-48. – EDN ITOFER.

8. masmotors.ru – complete set of ion batteries TANK 300 – URL: <https://www.masmotors.ru/car/tank/300/complectations> (accessed 11/20/2025)

9. ancap.com – GWM Tank 300 Security Rating – URL: [https://www.ancap.com.au/рейтинг_safety/great-wall-motors/tank-300/9cd3ff\(publication](https://www.ancap.com.au/рейтинг_safety/great-wall-motors/tank-300/9cd3ff(publication) date 11/22/2025)

10. ancap.com – GWM Tank 500 Security Rating – URL: [https://www.ancap.com.au/рейтинг_safety/great-wall-motors/tank-500/62fb09\(publication](https://www.ancap.com.au/рейтинг_safety/great-wall-motors/tank-500/62fb09(publication) date 11/22/2025)

11. iihs.org – The real advantages of collision avoidance technologies – URL: <https://www.iihs.org/research-areas/advanced-driver-assistance> (date of publication 11/23/2025)

Мураткин С.Е.

преподаватель кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Татаринцев В.Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Артёмов А.В.

старший преподаватель кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Колядин П.А.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Muratkin S.E.

lecturer at the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Tatarintsev V.Yu.

assistant of the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Artemov A.V.

senior lecturer of the department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Kolyadin P.A.

assistant at the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЖЕСТКОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ШИН НА ПОВЫШЕНИЕ ПЛАВНОСТИ ХОДА МИНИ-ТРАКТОРА УРАЛЕЦ-254

THE EFFECT OF STIFFNESS PARAMETERS OF VARIOUS TIRES ON IMPROVING THE SMOOTH RUNNING OF THE URALETS-254 MINI TRACTOR

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального определения радиальной жесткости базовой шины БЕЛ-186 и шины сверхнизкого давления ШАИНА-2, применяемых на мини-тракторе Уралец-254. Испытания выполнены на стенде СИХШ 2500-1000 при различных нормальных нагрузках и давлениях воздуха. Получены зависимости жесткости шин и рабочие диапазоны относительных деформаций. Установлено, что шины сверхнизкого давления характеризуются существенно меньшей радиальной жесткостью, что создает предпосылки для снижения вибонагруженности и повышения плавности хода мини-трактора. Полученные результаты могут быть использованы при выборе шин и при построении моделей динамики машинно-тракторных агрегатов.

Abstract. In the article, the results of experimental determination of the radial stiffness of the baseline BEL-186 tire and the ultra-low-pressure SHAINA-2 tire used on the Uralets-254 mini tractor are presented. The tests were carried out on the SIHSh 2500-1000 test bench under various

normal loads and inflation pressures. The stiffness characteristics and operating ranges of relative deformations were obtained. It was found that ultra-low-pressure tires exhibit significantly lower radial stiffness, which creates prerequisites for reducing operator vibration exposure and improving the ride smoothness of the mini tractor. The obtained results can be used for tire selection and for developing dynamic models of tractor–implement systems.

Ключевые слова: плавность хода, жесткость шин, мини-трактор, упругие свойства, давление воздуха в шинах.

Keywords: smooth running, tire stiffness, minitractor, elastic properties, tire air pressure.

Введение

Плавность хода является одним из ключевых показателей комфорта и безопасности эксплуатации сельскохозяйственной техники, в том числе и мини-тракторов [7]. Мини-трактор Уралец-254 (рис. 1) широко используется в малогабаритном и интенсивном сельском хозяйстве благодаря своей универсальности и маневренности. В современных условиях повышения эффективности работы оператора и надежности машин во многом зависит от оптимизации их вибрационных и динамических характеристик [3]. Особое значение при этом приобретает выбор шин, которые выступают в роли первичного элемента амортизации и взаимодействия с опорным основанием [5].



Рисунок 1 – Общий вид мини-трактора Уралец-254

Упругие свойства шин напрямую влияют на формирование динамических нагрузок в системе «опорное основание – шина – ось – рама – сиденье оператора» и, следовательно, на показатели плавности хода. В последние годы все большее внимание уделяется применению шин сверхнизкого давления, отличающихся большим объемом и меньшей радиальной жесткостью [4, 10, 11]. Та-

кие шины способны обеспечивать существенное снижение динамических нагрузок на элементы машины, увеличение пятна контакта и снижение давления на почву, что особенно важно для сельскохозяйственных мини-тракторов, эксплуатируемых в условиях ограниченной несущей способности грунтов [2].

В этой связи представляется актуальным проведение экспериментального определения радиальной и крутильной жесткости шин, применяемых на мини-тракторе Уралец-254, и анализ их влияния на предпосылки формирования вибрационных воздействий при его эксплуатации [8]. Настоящая работа направлена на получение таких данных и расширение методической базы расчета динамики малогабаритных тракторов при использовании различных типов шин [9].

Цель исследования

Целью исследования является экспериментальное определение радиальной и крутильной жесткости базовой шины БЕЛ-186 и шины сверхнизкого давления ШАИНА-2 мини-трактора Уралец-254 и анализ их влияния на предпосылки повышения плавности хода

Объект исследования

В качестве объектов исследования были выбраны шина сверхнизкого давления размерностью 900x500-16 модели ШАИНА-2 и базовая шина размерностью 11.2R-24 модели БЕЛ-186, устанавливаемые на мини-трактор Уралец-254 (рис. 2).

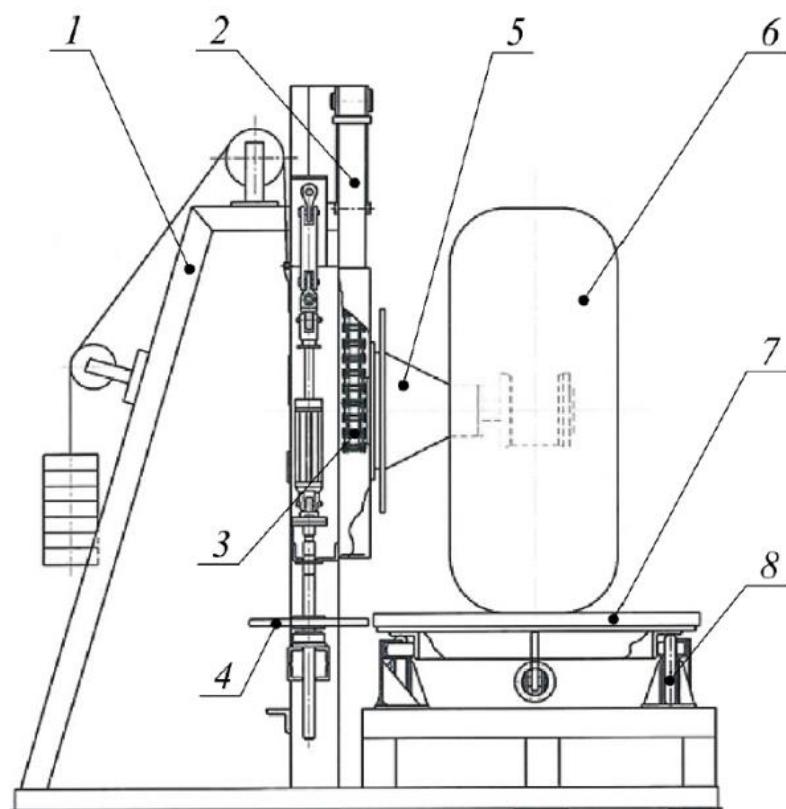


Рисунок 2 – Фрагмент испытаний шин на стенде СИХШ 2500-1000

Методы и материалы исследования

Стендовые испытания проводились с целью определения упругих характеристик шин при различных значениях внутришинного давления. Лабораторный метод выбран благодаря высокой воспроизводимости условий, стабильности нагружения и возможности корректного сравнения шин разных типов [1].

Испытания выполнялись в соответствии с «Единой методикой испытаний и оценки тракторных шин в лабораторных и полевых условиях» на универсальном стенде СИХШ 2500-1000 (рис. 3). Стенд обеспечивает заданное нормальное нагружение колеса, измерение вертикальных деформаций и регистрацию параметров нагружения в статическом режиме.



1 – станина; 2 – каретка; 3 – цепь механизма крутящего момента; 4 – винт нормальной нагрузки; 5 – полуось; 6 – колесо с шиной; 7 – опорная поверхность (стол); 8 – катки стола

Рисунок 3 – Конструкция стенда для испытания шин

В план проведения эксперимента входило определение радиальной жесткости двух образцов шин: базовой шины БЕЛ-186 и шины сверхнизкого давления ШАИНА-2. Каждая шина подвергалась радиальной обжимке в диапазоне нормальных нагрузок, рекомендованных заводом-изготовителем. Значения внутришинного давления варьировались от нижнего предела, соответствующе-

го началу потери устойчивости формы боковины под эксплуатационной нагрузкой трактора Уралец-254, до верхнего предела, установленного техническими характеристиками шин.

Для каждого режима нагружения регистрировалась зависимость вертикальной деформации шины от прилагаемой нагрузки. Радиальная жесткость определялась по результатам аппроксимации нагрузочной характеристики в соответствии с выражением согласно ГОСТ 17697-72:

$$C_z = \frac{\Delta F}{\Delta h_z}, \text{ кН/м}$$

где ΔF – изменение нормальной нагрузки, Δh – вертикальная деформация.

Испытания проводились на неподвижной опорной плите стенда с фиксированной скоростью нагружения. Для повышения достоверности данных каждый режим повторялся не менее трех раз с последующим усреднением результатов.

Полученные экспериментальные зависимости использовались для построения нагрузочных характеристик и определения рабочих диапазонов относительных деформаций исследуемых шин [6].

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам стендовых испытаний получены нагрузочные характеристики исследуемых шин и определены их упругие параметры при различных значениях внутришинного давления. На рисунке 4 представлена зависимость радиальной жесткости шины Бел-186 при различном внутришинном давлении. Результаты расчета радиальной жесткости шины Бел-186 представлены в таблице 1.

Анализ зависимости (рис. 4) указывает на монотонность изменения радиальной жесткости шины с ростом внутришинного давления.

Таблица 1 – Результаты определения радиальной жесткости шины Бел-186

Параметр	Значение							
Pw, кПа	60	80	100	120	160	180	220	250
Cz, кН/м	189,39	218,69	244,50	267,84	309,27	328,03	362,65	386,59

Результаты определения радиальной жесткости шины ШАИНА-2 представлены в таблице 2, а зависимость радиальной жесткости от внутришинного давления изображена на рисунке 5.

Рабочий диапазон относительных деформаций шины ШАИНА-2 составляет 12 – 20 %, что соответствует внутреннему давлению 50 – 70 кПа при полной нагрузке и 20 – 40 кПа при частичной нагрузке.

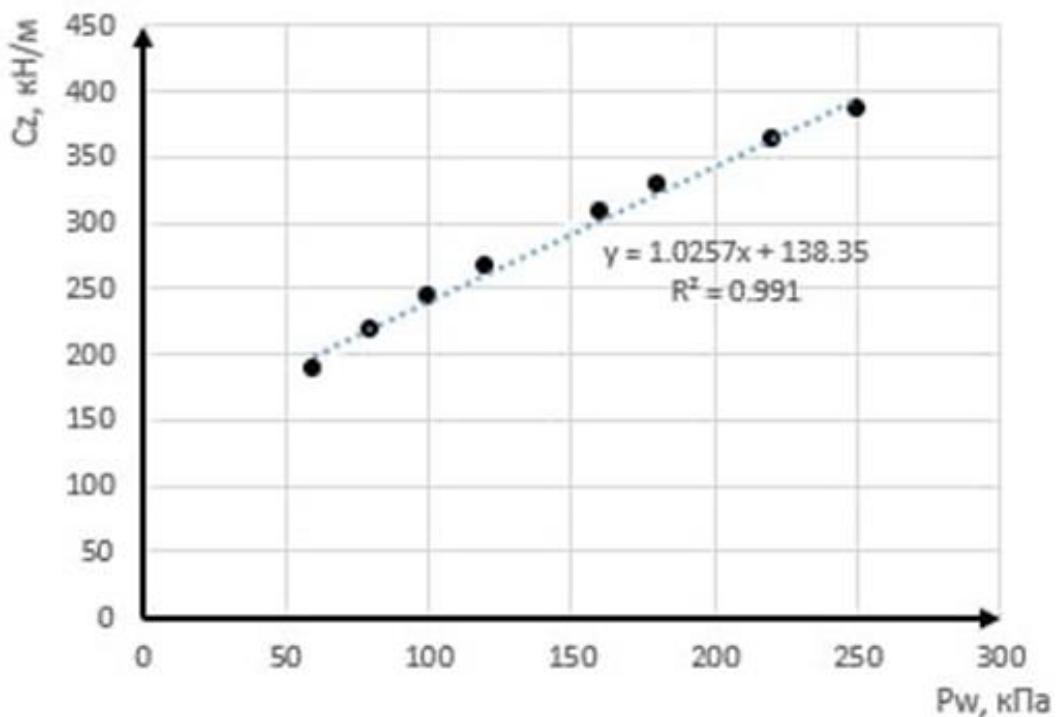


Рисунок 4 – Зависимость радиальной жесткости шины Бел-186 от внутришинного давления

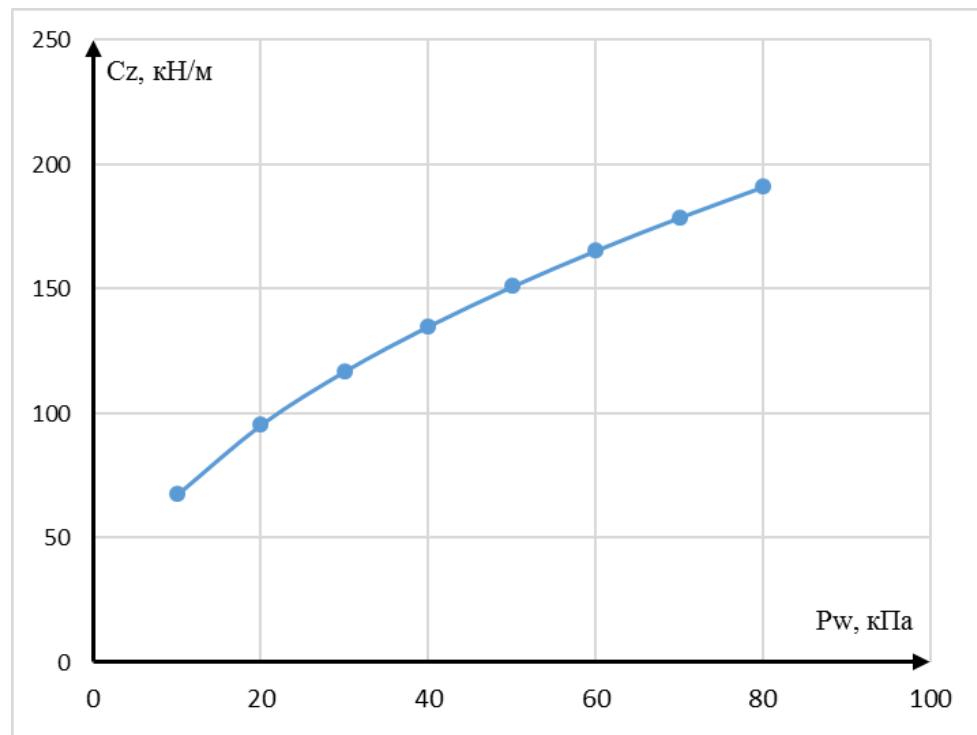


Рисунок 5 – Зависимость радиальной жесткости шины ШАИНА-2 от внутришинного давления

Таблица 2 – Результаты определения радиальной жесткости шины ШАИНА-2

Параметр	Значение							
	10	20	30	40	50	60	70	80
P _w , кПа	67,58	95,58	117,06	135,17	151,12	165,55	178,8	191,16
C _z , кН/м								

Полученные значения находятся в пределах, допустимых производителем, и обеспечивают устойчивость формы боковины при реальных эксплуатационных нагрузках на тракторе.

Сравнение характеристик двух шин показывает, что применение шины сверхнизкого давления приводит к снижению радиальной жесткости в 1,8-2,2 раза по сравнению с базовой шиной БЕЛ-186 при сопоставимых значениях нормальной нагрузки. Такое снижение жесткости является важным фактором с точки зрения формирования динамических нагрузок в системе «опорное основание – колесо – ось – трактор». Уменьшение жесткости приводит к увеличению упругих деформаций шины и снижению уровня передаваемых на раму высокочастотных вибраций, что создает предпосылки для повышения плавности хода и уменьшения вибронагруженности сиденья оператора.

Экспериментальные исследования подтверждают, что использование шин сверхнизкого давления на мини-тракторе Уралец-254 является технически оправданным с позиций формирования благоприятных динамических режимов работы машины. Радикальное снижение радиальной жесткости по сравнению с базовой шиной БЕЛ-186 позволяет рассматривать шину ШАИНА-2 как эффективное средство повышения плавности хода и снижения вибрационного воздействия на оператора при эксплуатации мини-трактора в сельскохозяйственных условиях.

Выводы

1. По результатам стендовых испытаний определена радиальная жесткость шин БЕЛ-186 и ШАИНА-2, при различных значениях внутришинного давления. Шина сверхнизкого давления обладает вдвое меньшей жесткостью по сравнению с базовой шиной в пределах эксплуатационных нагрузок трактора.

2. Снижение радиальной жесткости при использовании шины ШАИНА-2 создает предпосылки для уменьшения вибрационных воздействий, передаваемых на раму мини-трактора Уралец-254. Это указывает на потенциал повышения плавности хода и улучшения условий работы оператора в сельскохозяйственных режимах эксплуатации.

3. Дальнейшие исследования целесообразно направить на прямую оценку вибронагруженности сиденья оператора и динамических показателей мини-трактора при установке различных типов шин. Перспективным также является моделирование динамики в системе «трактор – шина – почва» и анализ влияния упругих характеристик шин на эффективность выполнения технологических операций.

Список литературы

1. Блажинский В.Р. Разработка и реализация метода определения зависимостей радиальной жесткости автомобильных шин // XXIV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Сборник материалов конференции. 2020. С. 148.
2. Захаров Н.Е. Увеличение проходимости мотоблока с помощью комбинированного колеса // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. Ижевск, 2020. С. 1309-1315.
3. Кручинин П.А. Исследование колебаний человека при спокойном стоянии. Москва: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2018. С. 21-23.
4. Лукьянчук А.Д. Безопасность транспортных средств. Минск. БНТУ, 2012. С. 88-90.
5. Мазур В.В. Повышение плавности хода автотранспортных средств внутренним подрессориванием колес. Москва. 2004. С.18-22.
6. Максимов Е.А., Устиновский Е.П. Исследование радиальной жесткости и демпфирующих свойств шины трактора при ударных нагрузках // Вестник НГИЭИ. 2020. № 4 (107). С. 16-23.
7. Оболенский В.А., Маков П.В., Спицын А. В. К вопросу повышения плавности хода подвижного состава специального назначения // Инновационные технологии в электронике и приборостроении: сборник докладов Российской научно-технической конференции с международным участием. Москва, 2021. С. 283-286.
8. Оценка вибронагруженности остова мини-трактора Уралец-254. Мураткин С.Е., Татаринцев В.Ю., Колядин П.А., Артемов А.В., Прядкин В.И. В сборнике: Автотракторная отрасль России: проблемы и перспективы. Материалы Всероссийской студенческой научной конференции. Воронеж, 2025. С. 55-70.
9. Повышение плавности хода мини-трактора уралец-254. Мураткин С.Е., Колядин П.А., Татаринцев В.Ю., Школьных А.В., Артемов А.В., Прядкин В.И. В сборнике: Перспективные направления развития автомобильной отрасли и подготовка кадров. Материалы Всероссийской научной конференции. Воронеж, 2024. С. 79-88.
10. Ряполов В.А., Чешуина Т.Г. Формообразование в конструкциях средств малой механизации // Теория и практика современной аграрной науки: сборник III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирский государственный аграрный университет. 2020. С. 86-89.
11. Руктешель О.С. Плавность хода автомобиля. Минск. БНТУ, 2021. С. 61.

References

1. Blazhinsky V.R. Development and implementation of a method for determining the dependencies of radial stiffness of automobile tires // XXIV Regional Conference of young scientists and researchers of the Volgograd region: collection of conference materials. 2020. P. 148.
2. Zakharov N.E. Increasing the cross-country ability of the tillerblock using a combined wheel // Scientific works of students of Izhevsk State Agricultural Academy. Izhevsk, 2020. pp. 1309-1315.

3. Kruchinin P.A. Investigation of human vibrations when standing still. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2018. pp. 21-23.
4. Lukyanchuk A.D. Vehicle safety. Minsk: BNTU, 2012. pp. 88-90.
5. Mazur V.V. Improving the smooth running of motor vehicles by internal wheel springing. Moscow. 2004. pp. 18-22.
6. Maksimov E.A., Ustinovsky E.P. Investigation of radial stiffness and damping properties of tractor tires under shock loads // Bulletin of the NGIEI. 2020. No. 4 (107). pp. 16-23. 9. 283-286.
7. Obolensky V.A., Makov P.V., Spitsyn A.V. On the issue of improving the smooth running of special-purpose rolling stock // Innovative technologies in electronics and instrumentation: collection of reports of the Russian Scientific and Technical Conference with international participation. Moscow, 2021. pp.
8. Assessment of vibration load on the skeleton of the Uralets-254 minitractor. Muratkin S.E., Tatarintsev V.Yu., Kolyadin P.A., Artyomov A.V., Pryadkin V.I. In the collection: Russian automotive industry: problems and prospects. Materials of the All-Russian Student Scientific Conference. Voronezh, 2025. pp.55-70.
9. Improving the smooth running of the Uralets -254 minitractor. Muratkin S.E., Kolyadin P.A., Tatarintsev V.Yu., Shkolnykh A.V., Artyomov A.V., Pryadkin V.I. In the collection: Promising directions for the development of the automotive industry and personnel training. Materials of the All-Russian Scientific Conference. Voronezh, 2024. pp.79-88.
10. Ryapolov V.A., Cheshuina T.G. Shaping in the structures of small-scale mechanization // Theory and practice of modern agricultural science. Collection of the III national (All-Russian) scientific conference with international participation. Novosibirsk State Agrarian University. 2020. pp. 86-89.
11. Rukteshel O.S. Smooth running of the car. Minsk. BNTU, 2021. P. 61.

Онищенко Д.О.

доктор техн. наук, профессор
кафедры поршневые двигатели
Московского государственного
технического университета
имени Н.Э. Баумана, РФ.

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор
кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г. Ф. Морозова, РФ

Артемов А.В.

кандидат техн. наук, старший
преподаватель кафедры автомобилей
и сервиса Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г. Ф. Морозова, РФ

Колядин П.А.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Татаринцев В.Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г.Ф. Морозова, РФ

Onishchenko D.O.

Doctor of technical sciences,
professor of the Department of Piston Engines
Bauman Moscow State Technical University,
Russian Federation.

Pryadkin V.I.

Doktor of technical sciences, professor,
Department of Automobiles and Service
Voronezh State Forestry Engineering University
named after G. F. Morozov,
Russian Federation

Artyomov A.V.

Candidate of Technical Sciences, Senior
Lecturer, Department of cars and service,
Voronezh State Forestry Engineering
University,
Russian Federation

Kolyadin P.A.

assistant of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Tatarintsev V.Yu.

assistant of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

ОЦЕНКА ПЛАВНОСТИ ХОДА СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА «МАНГУСТ»

EVALUATION OF RIDE COMFORT OF THE SPECIAL TRANSPORTVEHICLE MANGUST

Аннотация. В работе представлены результаты лабораторно-дорожных испытаний специального транспортного средства МАНГУСТ с целью определения его вибрационных характеристик при преодолении единичной неровности. Приведены методические подходы к регистрации виброускорений, рассмотрены особенности спектрального анализа сигналов и проведена оценка плавности хода по результатам экспериментальных измерений. Полученные данные позволили установить закономерности изменения вибонагруженности в зависимости от скорости движения и выявить резонансные режимы, определяющие комфортность и надежность эксплуатации. Сформулированы направления дальнейших исследований, направленные на совершенствование подвески и шинной системы.

Abstract. This paper presents the results of laboratory and road tests of the special transport vehicle MANGUST aimed at assessing its ride comfort and vibration characteristics when travers-

ing a single artificial road irregularity. Ride comfort is a key parameter determining the operational reliability, structural durability, and ergonomic quality of special-purpose vehicles, especially those operating under increased dynamic loads. The experimental study included registration of tri-axial accelerations on the vehicle frame and on the driver's seat, followed by spectral analysis and evaluation of root-mean-square vibration levels at different vehicle speeds. The obtained results make it possible to identify the resonance range of the suspension system and to assess the influence of speed on the vehicle's vibrational response. The findings have been used to verify a mathematical model of the vehicle dynamics and provide the basis for further optimization of the suspension and tire systems.

Ключевые слова: специальное транспортное средство, виброускорение, плавность хода, неровность, спектральный анализ.

Keywords: special transport vehicle; ride comfort; vibration acceleration; spectral analysis; artificial road irregularity; vehicle dynamics; experimental investigation.

Введение

Проблематика оценки плавности хода занимает центральное место при исследовании динамики специальных транспортных средств, предназначенных для функционирования в условиях повышенной вибрационной нагруженности. Работоспособность узлов, комфорт экипажа, слагаемая надежность подвески и управляемость автомобиля существенно зависят от уровня вертикальных ускорений, возникающих при взаимодействии колес с неровностями дорожного профиля [1]. Для машин военного и спасательного назначения эти параметры приобретают еще большую значимость, так как эксплуатация нередко сопряжена с высокими динамическими воздействиями и необходимостью обеспечения работоспособности оборудования в неблагоприятных условиях.

Специальное транспортное средство МАНГУСТ, являясь развитием проекта СТРЕЛА, сохранило ряд конструктивных особенностей предшественника, однако было адаптировано под расширенный спектр задач, включая движение по пересеченной местности [2]. Наибольший интерес представляет независимая диагональная подвеска, способная формировать характерные резонансные зоны в диапазоне эксплуатационных скоростей. В этой связи возникает необходимость экспериментального подтверждения расчетных характеристик и последующей верификации математической модели динамики [3].

В основе настоящей работы лежит методический подход, аналогичный использованному в исследовании и вибродинамики мобильного энергетического средства [3]. Тестирование СТС МАНГУСТ проводилось по схожему принципу, однако в иных скоростных режимах и без изменения давления воздуха в шинах. Такой подход позволил сосредоточить внимание именно на характеристиках подвески и кинематике взаимодействия с единичной неровностью.

Материалы и методы

Объектом исследования является специальное транспортное средство МАНГУСТ, основные конструктивные параметры которого приведены в таблице 1[2]. Общий вид машины представлен на рисунке 1, а характерные элементы рамы и независимой подвески – на рисунке 2.

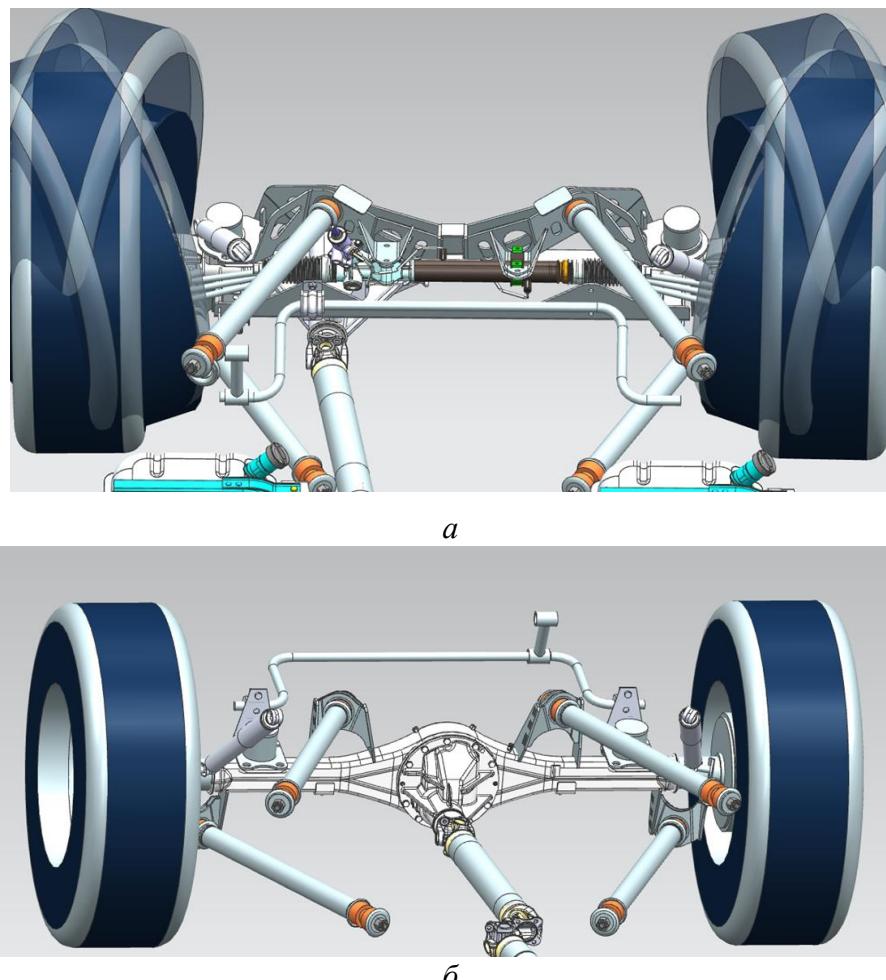
Таблица 1 – Технические характеристики СТС «МАНГУСТ»

Показатель	Значение показателя
Разработчик	МСИТК при участии студентов МГТУ им. Баумана
Тип машины	Вездеход среднего класса
Колесная формула	4x4
Двигатель	Cummins ISF2.8s4129P 88,3 кВт
Подвеска	независимая пружинная, оригинальной разработки, усиленная
Рама	пространственная, трубчатая
Снаряженная масса	2440 кг
Грузоподъемность	1000 кг
Вместимость	2-4 чел
Дорожный просвет	300 мм



Рисунок 1 – Общий вид СТС МАНГУСТ

Испытания проводились на ровном асфальтированном участке длиной 635 м (рис. 3 а), что обеспечивало стабильность условий возбуждения колебаний. Искусственная неровность представляла собой трапецидальный порог высотой 70 мм и использовалась в качестве возмущающего воздействия (рис. 3 б).



a – подвеска переднего моста; *б* – подвеска заднего моста

Рисунок 2 – Общий вид системы подпрессоривания СТС МАНГУСТ

Для регистрации виброускорений применялись приборы «Ассистент Total» и «Октава 101» (рис. 4), оснащенные трехкоординатными акселерометрами. Датчики устанавливались на раме над передним мостом и на подушке сиденья водителя, что позволяло фиксировать как отклик подпрессоренной массы, так и воздействие на экипаж [3].



a – участок дороги для проведения испытаний; *б* – единичные неровности на участке дороги

Рисунок 3 – Условия проведения испытаний

Частотный диапазон приборов (0,8–80 Гц по общей вибрации) обеспечивал регистрацию всех значимых компонент вертикального ускорения, включая резонансные пики и высокочастотные составляющие, возникающие при ударном характере возбуждения [3].



АССИСТЕНТ TOTAL



ОКТАВА 101

Рисунок 4 – Применяемые измерительные приборы

Испытания выполнялись при скоростях 10, 20, 30, 40 и 50 км/ч. Для повышения статистической достоверности каждая скорость повторялась пять раз. В завершение проводились контрольные проходы без преодоления неровности, по которым определялись собственные частоты системы «подвеска – шины – рама» и впоследствии исключалось их влияние.

Регистрация сигналов осуществлялась одновременно по трем осям. На этапе обработки выполнялось выделение участка, соответствующего пересечению неровности, после чего данные подвергались фильтрации для устраниния высокочастотных шумов. Далее проводился спектральный анализ, позволивший определить доминирующие частоты возбуждения. Среднеквадратическое значение вертикальных ускорений вычислялось по стандартной методике, что позволило количественно оценить вибонагруженность рабочего места водителя [3].

Результаты и обсуждение

Полученные зависимости виброускорений от скорости движения представлены на рисунке 5.

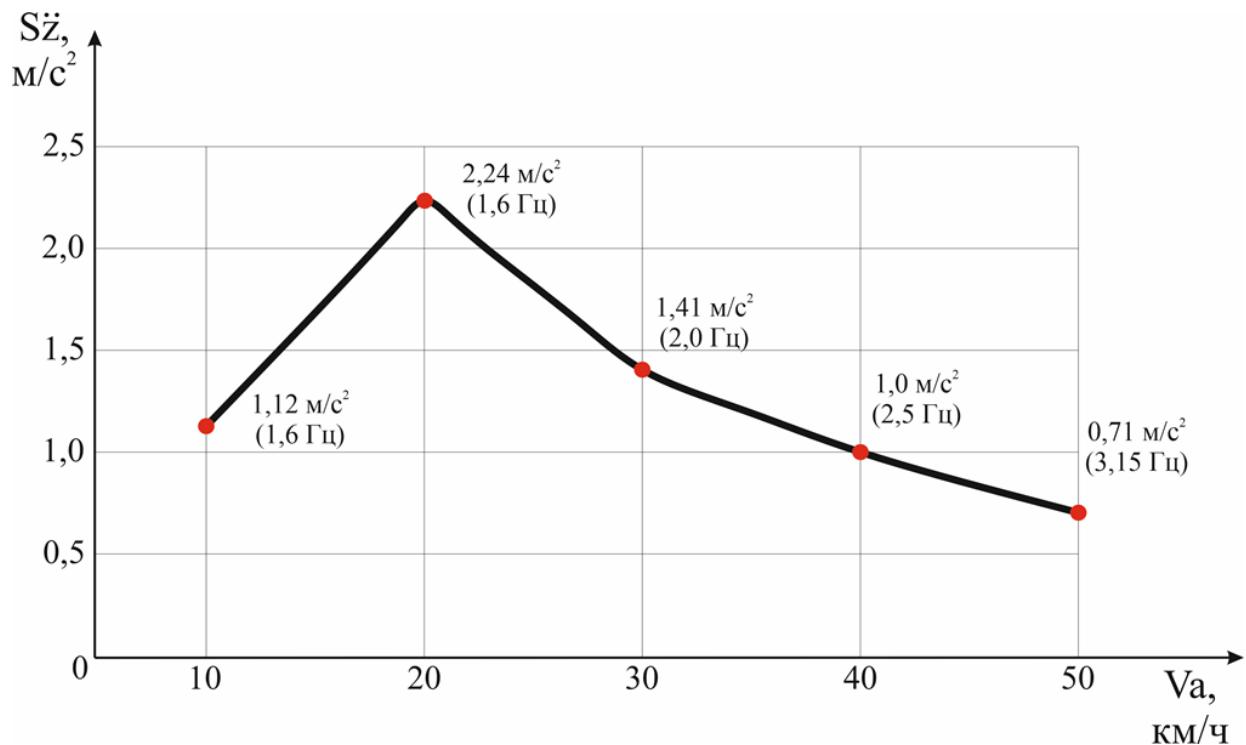


Рисунок 5 – Экспериментальные значения среднеквадратических ускорений на сидении водителя

Наиболее характерной особенностью является наличие выраженного резонансного пика при скорости около 20 км/ч, где наблюдается максимальное значение RMS ускорения – 2,24 $\text{м}/\text{с}^2$. При дальнейшем увеличении скорости амплитуда вибраций начинает снижаться: на скорости 40 км/ч она составляет около 1,0 $\text{м}/\text{с}^2$, а при 50 км/ч – не превышает 0,71 $\text{м}/\text{с}^2$.

Подобная динамика отражает принципиальные закономерности взаимодействия подвески с дорожной неровностью. При малых скоростях возбуждение недостаточно интенсивно, в то время как увеличение скорости до определенного диапазона приводит к совпадению частоты внешнего воздействия с собственными частотами системы, что и проявляется в резонансном росте виброускорений. На высоких скоростях время контакта со ступенчатой неровностью сокращается, и система фактически выходит из зоны резонанса, что сопровождается снижением вибрационной нагрузки.

Спектры ускорений показывают, что доминирующая частота при максимальной вибрации составляет около 1,6 Гц, что соответствует собственным частотам колебаний сиденья и нижней части подпрессоренной массы [4]. При скоростях 40–50 км/ч доминирующая частота смещается в область 2,5–3,15 Гц, что отражает переход к иным режимам взаимодействия колеса с дорожным профилем.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что конструктивные особенности подвески СТС МАНГУСТ формируют выраженную резонансную зо-

ну в диапазоне средних скоростей движения. В этой области автомобиль наиболее чувствителен к возмущениям, и параметры подвески (жесткость пружин, характеристики амортизаторов, давление в шинах) оказывают максимальное влияние на амплитуду виброускорений.

Сравнение результатов с литературными данными, включая исследования мобильных энергетических средств, показывает, что для автомобилей схожей мас-согабаритной категории характерно подобное распределение виброускорений по скоростям. Это подтверждает корректность примененной методики и позволяет использовать ее для дальнейшей оценки других типов машин [4, 5].

Снижение вибраций при скорости движения выше 40 км/ч свидетельствует о достаточно эффективной работе подвески в динамически выгодных режимах. Однако максимальные значения ускорений в области 20 км/ч указывают на необходимость дальнейшей оптимизации элементов подвески. Наиболее перспективным направлением является исследование упруго-демпфирующих характеристик шин и пружин, так как именно эти элементы определяют форму отклика системы при единичных импульсных воздействиях [6].

Выводы

Экспериментальная оценка вибонагруженности СТС МАНГУСТ при движении через единичную неровность позволила выявить ключевые особенности динамического поведения автомобиля.

Установлено наличие выраженного резонансного режима в диапазоне 20–30 км/ч и значительное снижение вибраций при высоких скоростях движения.

Примененная методика регистрации виброускорений и спектрального анализа показала свою эффективность и может использоваться для последующей верификации математических моделей.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на уточнение динамических параметров подвески и шин. Изменение давления воздуха в шинах способно существенно повлиять на частоту собственных колебаний колеса, что позволит сместить резонансную зону в более благоприятный диапазон скоростей. Важным направлением является оптимизация характеристик амортизаторов, поскольку нелинейные режимы их работы определяют степень демпфирования колебаний на ударных воздействиях.

Кроме того, внедрение адаптивных систем подвески на основе регулируемых амортизаторов или пневматических элементов может существенно повысить комфортность и безопасность движения. Верифицированная в рамках настоящей рабо-

ты математическая модель будет служить надежным инструментом для дальнейшего компьютерного анализа эффективности таких решений.

Список литературы

1. Балабин, И.В. Испытания автомобилей / И.В. Балабин, Б.А. Куров, С.А. Лаптев. – М.: Машиностроение, 1988. – 192 с.
2. Онищенко Д.О., Мобильные средства специального назначения: Мировой опыт, тенденции в создании / Д. О. Онищенко, Н. С. Ложкин, А. Б. Счастливцев [и др.] // Автотракторная отрасль России: проблемы и перспективы : Материалы Всероссийской студенческой научной конференции, Воронеж, 17 апреля 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 71-80. – DOI 10.58168/RAuIPP2025_71-80. – EDN VHKEKN.
3. Годжаев З.А., Перспективные мобильные средства на шинах сверхнизкого давления для сельскохозяйственного производства / З. А. Годжаев, В. И. Прядкин, П. А. Колядин, В. Артемов // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 4. – С. 277-286. – DOI 10.17816/0321-4443-115016. – EDN EHPEDS.
4. Колядин П.А. Расчетно-экспериментальное определение характеристик упругих элементов виброзащитной системы автомобиля / П. А. Колядин, В. Ю. Татаринцев, Е. Г. Рубцов, В. И. Прядкин // Проблемы и перспективы конструктивного совершенствования отечественного автомобилестроения : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 12 апреля 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 86-93. – DOI 10.58168/AutIndustry2023_86-93. – EDN BWOZGG.
5. Малеев, С.И. Аналитические исследования динамики подвески [Текст] / С.И. Малеев, С.М. Огороднов, Е.В. Степанов, А.В. Пинчин // Современные наукоемкие технологии. - 2019. - № 6.- С. 88-95. EDN: FBDCCC
6. Степанов, Е.В. Оценка плавности хода автомобиля с гидроэластомерной подвеской [Текст] / Е.В. Степанов, Ю.И. Молев, С.М. Огороднов, А.С. Вашурин // Труды НГТУ имени Р. Е. Алексеева. - 2020. - № 3 (130). - С. 120-131. EDN: ITOPHQ

References

1. Balabin, I.V. Vehicle Testing / I.V. Balabin, B.A. Kurov, S.A. Laptev. – Moscow: Mashinostroenie, 1988. – 192 p.
2. Onishchenko D.O., Special-Purpose Mobile Vehicles: Global Experience and Development Trends / D.O. Onishchenko, N.S. Lozhkin, A.B. Schastlivtsev [et al.] // Automotive and Tractor Industry of Russia: Problems and Prospects : Proceedings of the All-Russian Student Scientific Conference, Voronezh, April 17, 2025. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 2025. – pp. 71–80. – DOI 10.58168/RAuIPP2025_71-80. – EDN VHKEKN.
3. Godzhaev Z.A., Promising Mobile Vehicles on Ultra-Low-Pressure Tires for Agricultural Production / Z.A. Godzhaev, V.I. Pryadkin, P.A. Kolyadin, A.V. Artemov // Tractors and Agricultural Machines. – 2022. – Vol. 89, No. 4. – pp. 277–286. – DOI 10.17816/0321-4443-115016. – EDN EHPEDS.
4. Kolyadin P.A. Computational and Experimental Determination of Characteristics of Elastic Elements of a Vehicle Vibration Protection System / P.A. Kolyadin, V.Yu. Tatarintsev, E.G. Rubtsov, V.I. Pryadkin // Problems and Prospects of Structural Improvement of Domestic Automotive Engineering : Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, April 12, 2023. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies

named after G.F. Morozov, 2023. – pp. 86–93. – DOI 10.58168/AutIndustry2023_86-93. – EDN BWOZGG.

5. Maleev S.I. Analytical Studies of Suspension Dynamics / S.I. Maleev, S.M. Ogorodnov, E.V. Stepanov, A.V. Pinchin // Modern High Technologies. – 2019. – No. 6. – pp. 88–95. – EDN: FBDCCC.

6. Stepanov E.V. Evaluation of the Ride Comfort of a Vehicle with a Hydroelastomeric Suspension / E.V. Stepanov, Yu.I. Molev, S.M. Ogorodnov, A.S. Vashurin // Proceedings of the Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev. – 2020. – No. 3 (130). – pp. 120–131. – EDN: ITOPHQ.

Онуфриев С.Ю.

директор департамента технического обслуживания оборудования
автозавода ООО «Хавейл Мотор
Мануфактулинг Рус», РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры
автомобилей и сервиса Воронежского
государственного лесотехнического
университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Писарева С.В.

кандидат. ф-м. наук, доцент
Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г. Ф. Морозова, РФ

Быстров И.Р.

студент 4 курса автомобильного факультета
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г. Ф. Морозова, РФ

Onufriev S. Yu.

Director of the Department of Equipment
Maintenance at the «Havale Motor
Manufacturing Rus» Automobile Plant, Russian
Federation

Pryadkin V.I.

Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department of cars and service, Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov, Russian Federation

Pisareva S.V.

PhD, Associate Professor Voronezh State
University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Russian
Federation

Bystrov I.R.

4th year student of the Automobile
Faculty of Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov, Russian Federation

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ЗАВОДАХ: МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ

DIGITALIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AUTOMOBILE FACTORIES: GLOBAL AND DOMESTIC EXPERIENCE

Аннотация: В статье описываются ключевые направления развития техники в области автопроизводства: применение искусственного интеллекта, развитие технологии цифровых двойников, переход к модульному типу производства и постепенный отказ от конвейеров. Кроме того, в статье уделяется особое внимание замещению людей роботами, программами и ИИ для выполнения ответственных задач с большей точностью и меньшими затратами времени.

Abstract: The article describes the key areas of development in the field of automotive manufacturing, including the use of artificial intelligence, the development of digital twin technology, the transition to a modular production system, and the gradual elimination of conveyor belts. Additionally, the article focuses on the replacement of humans with robots, software, and AI to perform critical tasks with greater accuracy and efficiency.

Ключевые слова: автомобиль, стапель, сборочный конвейер, модульная сборка, умный завод, искусственный интеллект.

Keywords: automobile, frame, assembly line, modular assembly, smart factory, artificial intelligence.

Введение

История мирового автомобильного производства начинается в 80 годах XIX века, когда автомобили собирались вручную с применением стапелей. Это трудоемкий и дорогой процесс, который требовал высокую квалификацию рабочих, поэтому автомобили в то время были большой роскошью (рис. 1).

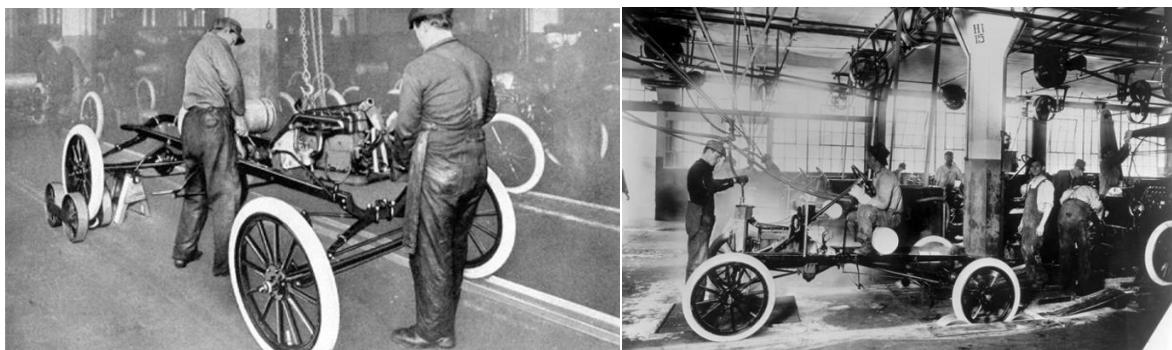


Рисунок 1 – Сборка автомобилей на стапеле

Ситуация изменилась с первым применением конвейерного метода сборки автомобилей Генри Фордом. Конвейерный метод предусматривал сборку автомобиля в жестком, последовательном порядке каждой технологической операции (рис. 2). Узкая специализация производства позволила привлекать для работы на сборочном конвейере низко квалифицированных рабочих, следовательно, платить им меньшую заработную плату. В отличие от предыдущего подхода, в котором рабочие перемещались между автомобилями с необходимой оснасткой и деталями, конвейерная линия самостоятельно перемещала автомобили, а рабочие только осуществляли сборочные операции. Это был прорыв, а идея использовать конвейерную линию для сборки автомобилей на долгие годы закрепилась у компаний, поскольку позволила сделать автомобиль массовым продуктом, гораздо более доступным для простых людей.

Однако на сборке все еще присутствовал ограничивающий фактор – человек. Риск человеческой ошибки заставил производителей задуматься о постепенном упразднении человеческого труда на трудоемких и монотонных операциях. Уже в 1970-х годах на автомобильных заводах крупных компаний стали появляться станки с автоматическим управлением и автоматизированные производственные линии с роботами – манипуляторами (рис. 3). Это повысило

точность при изготовлении и сократило время на выполнение производственных операций. В настоящее время роботы занимают львиную долю производственных территорий автомобильных заводов. Однако применение роботов не обеспечивает выполнение требований потребителей, предъявляемых к производителям автомобилей. Интенсивным внедрением в производство новых технологий и электроники, обусловлено то, что в одном и том же автомобиле потребителям нужна разная комплектация, начиная от двигателя с трансмиссией, заканчивая опциями комфорта и безопасности, при этом автомобили должны быть доступны покупателям.



Рисунок 2 – Сборка автомобилей марки Ford на конвейере

Решение данной проблемы потребовало от производителей принципиально нового решения, которое было найдено в большей цифровизации, использованию в производственных целях искусственного интеллекта и постепенном переходе к концепции «умного» автомобильного завода.

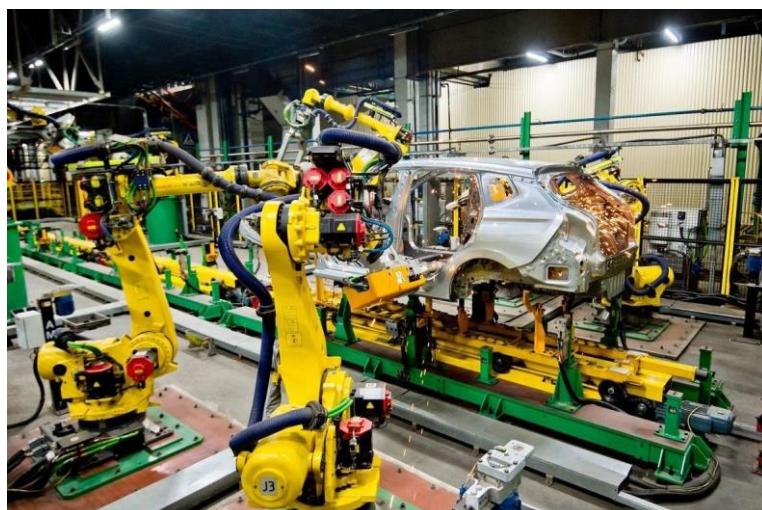


Рисунок 3 – Сварка кузова автомобиля роботами

Концепция «умного» автомобильного завода основана на принципиально новой технологии сборки, предусматривающей отказ от конвейера к гибкой сборочной модульной системе. Новая технология сборочного производства автомобилей предполагает отказ от сборочной линии, к модульной сборке. Благодаря модульной сборке производственные предприятия перестают быть статичными и превращаются в адаптивные среды.

Цель исследований – выполнить ретроспективный анализ технологий сборки автомобилей с конца XIX века по настоящее время и сделать прогноз на дальнейшее развитие технологий на основе цифровизации и искусственного интеллекта.

Материалы и методы

Проведен анализ литературных источников путем применения историко-аналитического метода. Объекты исследований – литературные источники по современным достижениям технического прогресса в области технологий сборочного производства автомобилей нового поколения.

Результаты и обсуждения

В настоящее время идет активная адаптация информационных технологий в автомобильное производство. Широкое внедрение цифровизации обеспечивает снижение себестоимости, а также повышение качества выпускаемой автомобильным заводом продукции, безопасности и сводит к минимуму риск человеческой ошибки. В условиях все большего количества функций в современных автомобилях растет требование к точности изготовления деталей и электронных компонентов, поэтому внедрение информационных технологий, а также использование в производстве искусственного интеллекта обеспечивает выполнение этих требований. Наметился переход к так называемой «индустрии 4.0» или «четвертой промышленной революции». Эта концепция предполагает полную цифровизацию и интеллектуализацию промышленности, где все физические объекты объединяются в единую сеть с виртуальными системами, способными взаимодействовать друг с другом и принимать какие-либо решения.

Внедрение «умных» заводов подразумевается высокоцифрованное производственное предприятие, которое использует взаимосвязанные системы, технологии и данные для улучшения производственных процессов и обеспечения лучшего принятия решений, а также большей гибкости для производства различных продуктов. Новые производственные технологии формируют «стро-

ительные блоки» умных заводов, которые позволяют автопроизводителям быстрее и экономически эффективнее внедрять новые модели, при этом значительно сокращая потребление энергии и затраты, и достигая целей устойчивого развития».

Умный автомобильный завод представляет собой комплекс систем, в числе которых: интернет вещей, искусственного интеллектуальное машинное обучение, цифровые двойники, робототехника, аддитивные технологии и технологии дополненной или виртуальной реальности, направленные на оптимизацию рабочих процессов, снижение затрат, уменьшение конечной себестоимости продукта при более качественном его создании. Умные заводы становятся ключевой особенностью индустрии 4.0. Они обладают контекстным восприятием и помогают людям и машинам выполнять свои задачи [1].

Компания Audi в 2016 годы впервые внедрили высокогибкую сборочную систему на основе использования AGV (автоматизированные управляемые транспортные средства) и дронов (рис. 4). В отличие от привычных сборочных систем с фиксированными компоновками и проектами процессов (рис. 5). Умный завод Audi позволяет осуществлять высокогибкое проектирование процессов и последовательность производственных заказов для достижения максимальной степени индивидуализации продукта [2, 3].



Рисунок 4 – Автоматизированное управляемое транспортное средство

Автоматизированные управляемые транспортные средства на заводе применяются двух видов: одни перевозят машины между модулями, другие — поставляют необходимые запчасти и навесное оборудование к ним же. Логистика и транспортировка деталей полностью выполняются системой беспилотного вождения. Автономное движение обеспечивается специальными лазерными датчиками, установленными по всей территории завода. Если перед AGV

возникает препятствие, она останавливается и сообщает об этом оператору. Скорость движения тележки в настоящее время ограничена на 4 км/ч.

На умном заводе миниатюрные и легкие роботы заменяют ручной труд для установки и крепления мелких деталей. Гибкие сборочные тележки заменят ручную затяжку винтов. На сборочной тележке размещено множество механических рук. Эти механические руки могут идентифицировать и закручивать винты в соответствии с установленными процедурами. Система помощи при сборке может информировать рабочих, где производить сборку, и может проверять конечный результат сборки. Однако некоторые операции все еще требуют человеческого участия, например, сборка жгутов электропроводки. Впрочем, система помощи при сборке может подсказывать рабочим, какие этапы требуют участие человека и отображать на экране результат контроля качества, предотвращая выпуск брака [3].



1 – RFID обеспечивает передачу данных об автомобилях всему заводу; 2 – Pearlchain синхронизирует производственную логистику; 3 – Напольные конвейеры без привода; 4 – система беспилотного транспорта; 5 – умное сканирование кузова; 6 – умное обслуживание; 7 – планирование виртуальной сборки; 8 – планирование виртуального хранилища; 9 – 3D-печать; 10 – кокпит покрасочного цеха; 11 – Audi Stream виртуальная экскурсия по заводу; 12 – беспилотник для определения положения ТС

Рисунок 5 – Устройство «умного» автомобильного завода на примере завода Audi

В отличие от традиционных сборочных систем с фиксированными процессами, умный завод позволяет осуществлять гибкое проектирование процес-

сов и последовательностей производственных заказов для достижения наивысшей степени индивидуализации продукта при сохранении производственной эффективности. Автономные мобильные роботы дают возможность разрабатывать принципиально новые формы сборки за счет гибкого перераспределения производственных услуг, необходимых для производства продукта

Дальнейшее развитие цифровизации привело к внедрению в сборочное производство интернет вещей – направления развития сети физических объектов, оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом и внешней средой. Все компоненты на производстве становятся «умными» и связываются в единую сеть. Это фундаментальная концепция современных «умных» заводов. Система интернета вещей является базовой основой бережливого производства, дополняя и усиливая его воздействие в создании конкурентных преимуществ для производственных компаний.

Система интернета вещей так же позволяет осуществлять отслеживание производства в режиме реального времени. Датчики, прикрепленные к производственному оборудованию, активам и материалам, могут длительное время отслеживать заданные параметры. Данные с них передаются по проводным и беспроводным сетям на платформы, которые их анализируют. Появляется возможность отслеживать в реальном времени проблемы или сбои и принимать своевременные решения [4].

Цифровизация производства и управление производством невозможно, без использования искусственного интеллекта, который преобразует каждый этап производственного процесса на автомобильном заводе – от проектирования до контроля качества вышедшего с конвейера автомобиля. Все чаще для таких задач, как сварка, покраска, сборка используются роботы (рис. 6). Это повышает эффективность работы завода и снижает риск человеческой ошибки. Развитие в этом направлении дает возможность создания «умного» завода, где роботы и люди будут беспрепятственно сотрудничать для оптимизации производства. Все больше операций, где требуется участие человека, сокращается. Сварка, сборка, окраска, контроль качества – уже не требуют человеческого вмешательства, так как искусственный интеллект и роботы справляются точнее, быстрее, а риск человеческой ошибки будет сведен к минимуму [5].

Сборка автомобиля на автоматизированных управляемых транспортных средства производится благодаря наличию цифрового двойника (рис. 7). Цифровой двойник на базе виртуальной модели автомобиля, позволяет моделировать поведение этого объекта или протекание процесса при любых условиях.

Концепция цифрового двойника позволяет пользователю создать систему, которая будет давать информацию о том, как различные изменения будут влиять на реальный объект. Цифровой двойник так же нацелен на объединение технологий глубокого обучения с данными, полученными из реального опыта, для создания алгоритмов, которые будут изменять поведение цифровой двойник. В основе этой технологии лежит информация от сенсорных устройств, CAD-модели и инженерные дисциплины вместе с реальными данными, проанализированными с помощью сложных моделей глубокого обучения [6].



Рисунок 6 – Роботизированная сборка автомобиля на конвейере

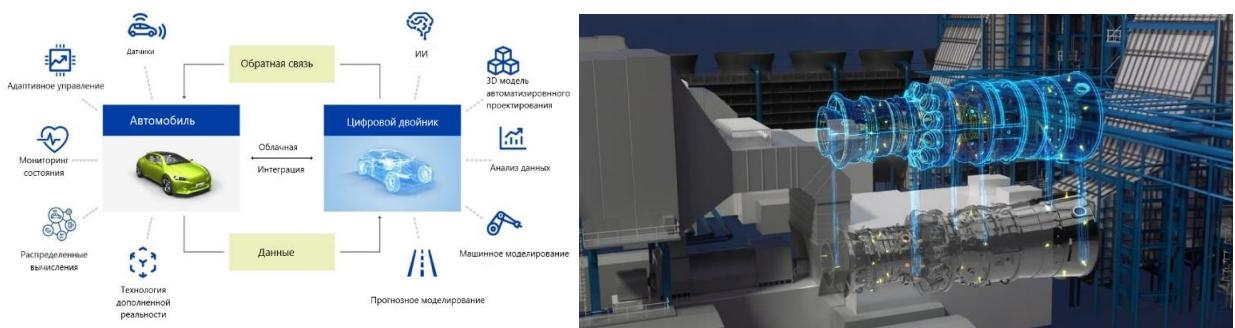


Рисунок 7 – Цифровой двойник

После создания цифрового двойника информация о среде, в которой он существует, информация собирается с помощью чувствительных сенсоров. Далее с помощью алгоритмов эти данные анализируются для оценки различных параметров среды цифрового двойника. Цифровой двойник, по своей сути, является виртуальным спутником автомобиля или производственного процесса.

Это дает руководителям производства возможность осуществлять мониторинг и управление в реальном времени. Мощное вычислительное устройство осуществляет постоянную передачу данных, подвергающихся в последствии анализу. Этот подход позволяет прогнозировать потенциальные сбои и устранять их заранее, а операции настраивать более точно для повышения эффективности. Сложность цифровых двойников растет, их становится больше ввиду удешевления данных. Они уже превратились в жизненно важный элемент арсенала руководителя высокотехнологичного производства [6, 7].

Компания BMW заключила партнерство с NVIDIA и создала цифровой двойник целого завода по производству электромобилей (рис. 8). Она первая реализовала эту концепцию для оптимизации производства и управления [8, 9].

Цифровой двойник и искусственный интеллект, являющиеся фундаментом, и все большем их включении в жизни предприятий, с их внедрением открывается новая тенденция в производстве – индустрия 4.0. Это новая цифровая эра в мире автомобильного производства. В цифровую эпоху, чем больше компонентов объединяется, тем информативнее становится результат их анализа. Это дает производителю огромное количество вариантов решения той или иной производственной задачи на любом этапе производства [10].



Рисунок 8 – Цифровой двойник завода по производству электрических автомобилей BMW

В КНР состоялся запуск крупнейшего завода Changan, Huawei и China Unicom, который уже прозвали «цифровым интеллектуальным заводом». Технологичность завода позволяет одновременно производить автомобили разных брендов, а также для конкретного покупателя. Кроме того, завод обладает спо-

собностью к «самообучению» благодаря активному применению искусственного интеллекта. На заводе сейчас трудятся 1400 промышленных роботов, задействовано свыше 200 автоматизированных рабочих станций и активно применяется 650 автономных транспортных тележек (AVG) [11].

Контроль качества на ведущих автомобильных заводах осуществляется интегрированной системой технологий, работающих в режиме реального времени на всех этапах производства. Среди них: цифровые двойники, компьютерное зрение, контроль роботами, системы отслеживания, автоматизированные испытания и интеграция с облачными платформами (рис. 9). Компания Pegatron внедрила в производство технологию NVIDIA Metropolis для автоматического оптического контроля (AOI) качества электронных компонентов. Это повысило показатель точности при проверке качества до 99,8% [5].



Рисунок 9 – Применение компьютерного зрения для определения качества покраски в световом тонеле

Mercedes – Benz используя на основании приложений, построенных Omniverse, платформу Metropolis которая может обогащать данные из них для решения конкретных задач, применяя компьютерное зрение: контроль качества сварных швов и геометрии кузова, контроль правильности сборки узлов, контроль окраски [12].

Компания Ford внедрила две собственные технологии и искусственного интеллекта: AiTriz MAIVIS для обнаружения дефектов в режиме реального времени. AiTriz, использует машинное обучение и видеопоток, чтобы находить миллиметровые перекосы и смещения. MAIVS, работает со снимками, которые делают смартфоны, закреплённые на 3D печатных стойках, и проверяет, все ли детали установлены в соответствии с нормой (рис.10) [13].

Автоматизация и роботизация на умных заводах предполагает не только сборку автомобилей, но и производство деталей к ним. В отличие от традиционной обработки, в основе которой предусмотрены такие технологические операции, как вытачивание, фрезеровка или литье деталей.



Рисунок 10 – Применение компьютерного зрения
компанией Ford для определения дефектов

Технология 3D-печати осуществляет наложение материала слой за слоем, создавая деталь. Благодаря послойному построению требуемая деталь может быть любой формы, когда раньше форма деталей ограничивалась целесообразностью экономических вложений (рис. 11).

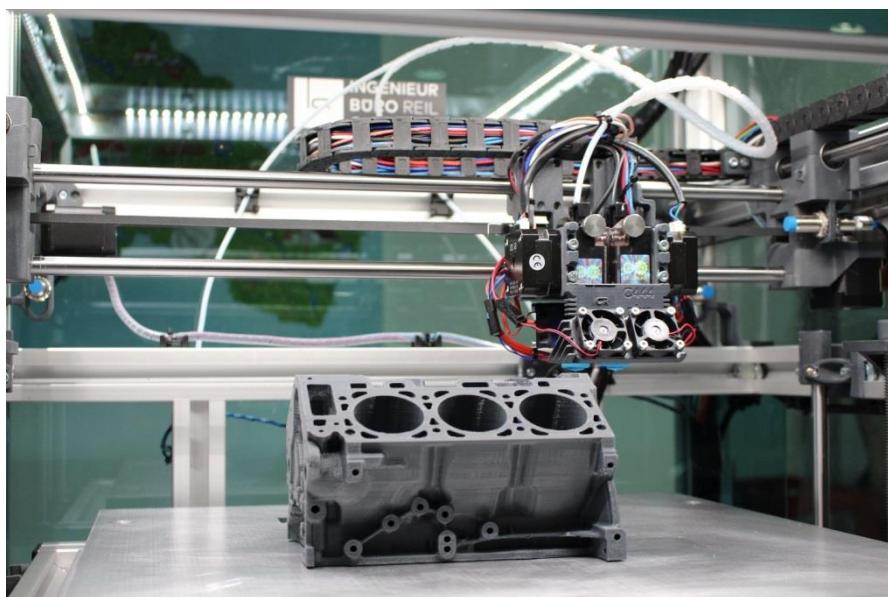


Рисунок 11 – Применение аддитивных технологий для изготовления
блока цилиндров двигателя

Печатные алюминиевые детали имеют примерно в два раза больший предел прочности на разрыв эквивалентных частей, и к тому же они на 20–30% легче деталей, изготовленных из конструкционного литья.

Существует несколько основных технологий: лазерная печать, печать с использованием пучка электронов, струйная печать связующим и послойное наплавление [14].

Готовые детали представляют собой объекты, имеющие шероховатую, в частых случаях зернистую. Поверхность в последствии их необходимо обрабатывать механическим путем или станком с ЧПУ. Кроме того, детали все так же должны проходить термообработку.

В настоящее время цифровизация сборочного производства автомобилей выходит на новый качественный уровень, а связь между машинами и производственными объектами, становятся все более интеллектуальными, возвещают о новой эре: четвертой промышленной революции, Индустрии 4.0.

Выводы

1. Проведенный ретроспективный анализ эволюции технологий сборочного производства автомобилей показал, что на первом этапе использовали стапельную сборку, далее была внедрена конвейерная сборка, а ей на смену пришла модульная сборка.

2. Дальнейшее развитие технологий сборочного производства автомобилей связано с внедрением технологий искусственного интеллекта, цифровых двойников, робототехника, аддитивные технологии и технологии дополненной или виртуальной реальности, базирующимся на модульной сборке.

Список литературы

1. Р. Карим. ИИ- завод / Р. Карим, Д. Галар, У. Кумар // CRCPress. – 2023. – 444 с. // ЭБС «Googlebooks» - URL: https://www.google.ru/books/edition/AI_Factory/dYm3EAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (дата обращения: 14.11.2025)
2. Г. Ульрик. Беспилотные транспортные системы / Г. Ульрик, Т. Альбрехт //SprintFachmedienWiesbaden. – 2022. – 271 с. // ЭБС «Googlebooks». - URL: https://www.google.ru/books/edition/Automated_Guided_Vehicle_Systems/i4qbEAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (дата обращения: 14.11.2025)
3. Е. Кузьмин. Цифровая трансформация в индустрии / Е. Кузьмин, Д. Ленг, В. Акбердина, В. Кумар //SpringerInternationalPublishing. – 2022. – 492 с. // ЭБС «Googlebooks». - URL: https://www.google.ru/books/edition/Digital_Transformation_in_Industry/DWBsEAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0
4. А. Дешпанд. Передовая производственная цепочка и система поставок с использованием Интернета вещей / А. Дешпанд, Б. Саркар, Д. Дейв, Р. Дав // WalterdeGruyterGmbH. – 2024. – 338 с. // ЭБС «Googlebooks» - URL:

https://www.google.ru/books/edition/Advanced_Manufacturing_and_Supply_Chain/bjX2EAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (дата обращения: 14.11.2025)

5. Б. Саркар. Искусственный интеллект для передового производства и промышленного применения / Б. Саркар, Р. Кумар Пол // SpringerNatureSwitzerland. – 2025. – 174 с. // ЭБС «Googlebooks» - URL: https://www.google.ru/books/edition/AI_for_Advanced_Manufacturing_and_Indust/fR1TEQAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (дата обращения: 14.11.2025)

6. А. Кашиф Башир. Цифровой двойник для умного производства / А. Кашиф Башир, Б. Балусеми, П. Малик, Р. Вани, Р. Кумар Дханарай//ElsevierScience. – 2023. – 350 с. // ЭБС «Googlebooks» - URL: https://www.google.ru/books/edition/Digital_Twin_for_Smart_Manufacturing/xC2gEAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (дата обращения: 14.11.2025)

7. А. Локеш Гади. Развитие устойчивого автомобильного производства с помощью интеллектуального технического обслуживания на основе искусственного интеллекта, цифровых двойников и интеллектуальных хранилищ данных / А. Локеш Гади // GLOBALPENPRESSUK. – 2025. – 263 с. // ЭБС «Googlebooks» - URL: https://www.google.ru/books/edition/Advancing_Sustainable_Automotive_Manufac/KBFTEQAAQBAJ?hl=ru&gbpv=1 (дата обращения: 14.11.2025)

8. А. Tarantino. Умное производство / А. Tarantino // Wiley – 2022. – 464 с. // ЭБС «Googlebooks» - URL: https://www.google.ru/books/edition/Smart_Manufacturing/hGZxEAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (дата обращения: 14.11.2025)

9. Russian Busibes – Новая фабрика BMWне существует в реальной жизни, но все равно меняет автопром. – URL: <https://rb.ru/stories/bmw-factory-twin> (дата обращения: 14.11.2025)

10. Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance / A. Tubis, A. Burduk, E. Chlebus, T. Nowakowski // Springer International Publishing – 2018. – 785с. // ЭБС «Googlebooks» - URL: https://www.google.ru/books/edition/Intelligent_Systems_in_Production_Engine/afpmDwAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0

11. Mail.ru – Changan и Huawei открыли самообучающийся автомобильный завод. – URL: <https://auto.mail.ru/article/97838-changan-i-huawei-otkryili-samoobuchayuschijsya-avtomobilnyij-zavod>(дата обращения: 14.11.2025)

12. Mercedes-Benz: «Digital First» production. – URL: <https://group.mercedes-benz.com/search/?query=NVIDIA+&category=all> (дата обращения: 14.11.2025)

13. ИИ-камеры на заводах Ford ловят дефекты, которые сложно заметить. –URL: <https://habr.com/ru/companies/bothub/news/936540>(дата обращения: 14.11.2025)

14. M. Wasim3D Printing and Additive Manufacturing: Technologies, Applications, and Future Directions[Текст]/ Wasim M., K. Helal //Deep Science Publishing. – 2025. – 136с. – URL:https://www.google.ru/books/edition/3D_Printing_and_Additive_Manufacturing_T/Ig-HEQAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (дата обращения: 14.11.2025)

References

1. R. Karim AI Factory / R. Karim, D. Galar, U. Kumar // CRCPress. - 2023. - 444 p. // Googlebooks Electronic Library System - URL: https://www.google.ru/books/edition/AI_Factory/dYm3EAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (accessed: 11/14/2025)
2. G. Ulrich Unmanned Transport Systems / G. Ulrich, T. Albrecht // SpringerFachmedienWiesbaden. - 2022. - 271 p. // Googlebooks Electronic Library System - URL: https://www.google.ru/books/edition/Automated_Guided_Vehicle_Systems/i4qbEAAAQBAJ?hl=r&gbpv=0 (Accessed: 11/14/2025)
3. E. Kuzmin Digital Transformation in Industry /E. Kuzmin, D. Leng, V. Akberdina, V. Kumar //SpringerInternationalPublishing. - 2022. - 492 p. // Googlebooks Electronic Library System - URL:

https://www.google.ru/books/edition/Digital_Transformation_in_Industry/DWBsEAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0

4. A. Deshpande Advanced Manufacturing Chain and Supply System Using the Internet of Things /A. Deshpande, B. Sarkar, D. Dave, R. Dove // WalterdeGruyterGmbH. - 2024. - 338 p. // Googlebooks Electronic Library System - URL:

https://www.google.ru/books/edition/Advanced_Manufacturing_and_Supply_Chain/bjX2EAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (accessed: 14.11.2025)

5. B. Sarkar Artificial Intelligence for Advanced Manufacturing and Industrial Applications / B. Sarkar, R. Kumar Paul // SpringerNatureSwitzerland. - 2025. - 174 p. // Googlebooks Electronic Library System - URL:

https://www.google.ru/books/edition/AI_for_Advanced_Manufacturing_and_Indust/fR1TEQAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (Accessed: 11/14/2025)

6. A. Kashif Bashir Digital Twin for Smart Manufacturing / A. Kashif Bashir, B. Balusemi, P. Malik, R. Wani, R. Kumar Dhanaraj // ElsevierScience. - 2023. - 350 p. // Googlebooks Electronic Library System - URL:

https://www.google.ru/books/edition/Digital_Twin_for_Smart_Manufacturing/xC2gEAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (Accessed: 11/14/2025)

7. A. Lokesh Gadi Developing Sustainable Automotive Manufacturing with the Help of Intelligent Maintenance Based on Artificial Intelligence, Digital Twins, and Intelligent Data Warehousing /A. Lokesh Gadi //GLOBALPENPRESSUK. – 2025. – 263 p. // Googlebooks Electronic Library System - URL:

https://www.google.ru/books/edition/Advancing_Sustainable_Automotive_Manufac/KBFTEQAAQBAJ?hl=ru&gbpv=1 (Accessed: 11/14/2025)

8. A. Tarantino Smart Manufacturing /A. Tarantino // Wiley – 2022. – 464 p. // Googlebooks Electronic Library System - URL: https://www.google.ru/books/edition/Smart_Manufacturing/hGZxEAAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (Accessed: 11/14/2025)

9. Russian Busibes – The new BMW factory doesn't exist in real life, but it's still changing the auto industry. – URL: <https://rb.ru/stories/bmw-factory-twin> (date accessed: 14.11.2025)

10. Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance / A. Tubis, A. Burduk, E. Chlebus, T. Nowakowski // Springer International Publishing – 2018. – 785 p. // Googlebooks Electronic Library System - URL: https://www.google.ru/books/edition/Intelligent_Systems_in_Production_Engine/afpmDwAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0

11. Mail.ru - Changan and Huawei opened a self-learning automobile plant. –URL: <https://auto.mail.ru/article/97838-changan-i-huawei-otkryili-samoobuchayuschijsya-avtomobilnyij-zavod> (accessed: 14.11.2025)

12. Mercedes-Benz: “Digital First” production. – URL: <https://group.mercedes-benz.com/search/?query=NVIDIA+&category=all> (Accessed: 14/11/2025)

13. AI cameras at Ford plants catch defects that are difficult to notice. – URL: <https://habr.com/ru/companies/bothub/news/936540> (Accessed: 14/11/2025)

14. M. Wasim 3D Printing and Additive Manufacturing: Technologies, Applications, and Future Directions / Wasim M., K. Helal // Deep Science Publishing. – 2025. – 136 p. – URL:https://www.google.ru/books/edition/3D_Printing_and_Additive_Manufacturing_T/Ig-HEQAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0 (date accessed: 14/11/2025).

Попов Д.А.

к.т.н., доцент кафедры
машиностроительных технологий,
Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Попов П.Н.

аспирант кафедры машиностроительных
технологий, Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Кабанцов В.Д.

студент 3 курса машиностроительного
факультета Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Иванов Д.А.

студент 3 курса машиностроительного
факультета Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Скрыльников Н.В.

студент 3 курса машиностроительного
факультета Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Popov D.A.

candidate of technical sciences, associate
professor of the department of mechanical
engineering technologies, Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov, Russian Federation

Popov P.N.

postgraduate Student, Department of
Mechanical Engineering Technologies,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Kabantsov V.D.

third-year student in the Mechanical
Engineering Department at the Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov, Russian Federation

Ivanov D.A.

third-year student in the mechanical
engineering department at the Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov, Russian Federation

Skrylnikov N.V.

third-year student in the mechanical
engineering department at the Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov, Russian Federation

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ДВУХТОПЛИВНЫХ И ГАЗОВЫХ СИСТЕМ ПИТАНИЯ ДВС НА ТРАНСПОРТЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

DEVELOPMENT DYNAMICS OF DUAL-FUEL AND GAS POWER SYSTEMS FOR ICE IN TRANSPORT: PROBLEMS AND PROSPECTS

Аннотация. В статье приведены краткие результаты аналитического обзора на основе данных отраслевых отчетов о фактическом состоянии, проблемах и перспективе развития двухтопливных систем питания, а также газовых двигателей внутреннего сгорания. Оценивается экономический потенциал наиболее богатых запасами природного газа стран и динамика развития газомоторного топлива. Даны оценка технических задач, а также субъективных факторов, препятствующих переходу на газомоторное топливо.

Abstract. This article presents a summary of the results of an analytical review based on industry reports on the current status, challenges, and development prospects of dual-fuel systems and gas internal combustion engines. It assesses the economic potential of countries with the largest natural gas reserves and the dynamics of gas motor fuel development. An assessment of the technical challenges and subjective factors hindering the transition to gas motor fuel is provided.

Ключевые слова: газомоторный транспорт, двухтопливные системы питания, экология, энергетика, проблемы и перспективы.

Keywords: gas-powered transport, dual-fuel power systems, ecology, energy, problems and prospects.

Введение

Результаты аналитических данных указывают на то, что газовые и двухтопливные системы питания (бензин-газ, дизель-газ) ДВС имеют стратегический и экономический потенциал особенно для богатых природным газом стран, таких как Россия, США, Иран. При том, что общий тренд развития транспорта свидетельствует о переходе на экологичные виды топлива, в основном электричество, для многих стран северного полушария с относительно холодными зимами, применение электрической тяги пока остается не выгодными более реалистичным является применение газомоторных двигателей, отличающихся как экологичностью, так и экономичностью по отношению нефтяным топливам. Мировые и отечественные аналитические агентства дают прогноз того, что мировой рынок газомоторного транспорта вырастет с 15,64 млрд долларов США в 2025 году до 31,06 млрд долларов США к 2035 году, демонстрируя среднегодовой темп роста 7,1%. Реализация государственных программ развития в России может увеличить потребление газа на транспорте с 2,52 млрд м³ в 2024 году до 9,6–13,9 млрд. м³ к 2035 г., [1] что позволит существенно повысить долю газомоторного транспорта и активизировать развитие транспортной газовой инфраструктуры, обучение персонала для переводов транспорта на газ и его техническое обслуживание.

Основная задача, на решение которой акцентирована данная статья, направлена на поиск наиболее рациональных направлений развития транспорта с использованием ДВС на газе или двухтопливный системе питания в контексте утверждённой правительством РФ программы развития газомоторных транспортных средств и их инфраструктуры.

Оригинальность работы состоит в комплексном сравнительном анализе вариантов становления газомоторного транспорта в России и мире. Это позволит дать относительный прогноз динамики и потенциала развития газомоторного транспорта в ближайшие 10 лет.

Существующие исследования газомоторного транспорта можно в целом разделить на несколько направлений: технические исследования, посвященные технологиям двигателей и характеристикам выбросов; экономический анализ конкурентоспособности по стоимости в сравнении с традиционными видами топлива

и альтернативными; исследования политики, изучающие нормативно-правовую базу и системы стимулирования; и рыночные прогнозы, прогнозирующие темпы внедрения при различных сценариях. В литературе утверждается, что газомоторные автомобили обеспечивают значительное снижение выбросов углекислого газа (CO_2) – примерно на 20 % – по сравнению с бензиновыми автомобилями, при этом наблюдается еще большее снижение выбросов оксидов азота (NO_x) и твердых частиц (PM) [2].

В исследовательской литературе наблюдается заметный географический перекос: большинство исследований концентрируются на азиатских рынках (в частности, Китае и Индии), в то время как российские разработки получили меньше внимания на международном уровне, несмотря на стратегические инициативы страны. Данная статья призвана восполнить этот пробел, представляя всесторонний анализ недавно утвержденной в России Концепции развития рынка газомоторного топлива до 2035 года и сравнивая ее положения с мировыми тенденциями. Исследование опирается на официальные правительственные документы, отраслевые отчеты и анализ рынка для формирования комплексной перспективы развития газомоторного топлива.

1. Современное состояние и перспективы газомоторного транспорта в России

В сентябре 2025 г. Правительство Российской Федерации утвердило Концепцию развития рынка газомоторного топлива до 2035 г. – документ, определяющий развитие газомоторного транспорта в качестве национального приоритета. Как подчеркнул премьер-министр Михаил Мишустин, «использование газомоторного топлива является приоритетным направлением для нашей страны» [3]. Это направление, обозначенное, как национальный проект позволит существенно повысить численность автомобильного транспорта гражданского и коммерческого назначения, спецтранспорта, а также стимулирует развитие газовой инфраструктуры и позволит частично разгрузить экологическую напряженность больших городов.

В документе выделены восемь сегментов транспортных средств и оборудования, в которых переход на газомоторное топливо принесет существенный экономический и экологический эффект: автомобильный транспорт; морской и речной транспорт; железнодорожный транспорт; сельскохозяйственная техника и оборудование; коммунальная и дорожно-строительная техника; специализированная техника для карьеров и горнодобывающей промышленности. Этот

комплексный подход отражает стратегическое значение развития газомоторного транспорта не просто как нишевого рынка, а как фундаментальной трансформации транспортной системы России [5].

Приоритетные направления развития и основные целевые параметры программы

Концепция развития газомоторного топлива в России предполагает два основных сценария развития с двумя уровнями, которые предполагается достичь: 1) базовый, предполагающий достижение минимальных целевых показателей с учетом внешнеэкономической напряженности и внутренних объективные трудности и 2) целевой – полностью отвечающий максимальным запросам государства на предполагаемый период, обусловлен благоприятным развитием как внешних обстоятельств, так и активным вовлечением населения и инвесторов в реализацию программы, варианты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты развития газомоторного транспорта в России до 2035 г. [4, 5]

Показатель	Базовый сценарий	Целевой сценарий
Производство новых газобаллонных автомобилей	347,3 тыс. ед.	528 тыс. ед.
Модернизация существующих автомобилей	369,5 тыс. ед.	525 тыс. ед.
Строительство гражданских судов	80 ед.	107 ед.
Производство локомотивов	113 ед.	149 ед.
Сельскохозяйственная техника	4 тыс. ед.	18,7 тыс. ед.
Карьерная техника	1,6 тыс. ед.	2,9 тыс. ед.
Коммунальная и дорожно-строительная техника	2,5 тыс. ед.	3,8 тыс. ед.
Потребление газа	9,6 млрд м ³	13,9 млрд м ³
Заправочная инфраструктура	2213 ед.	2715 ед.

Реализация этих планов позволит России увеличить потребление газа на транспорте с текущих 2,52 млрд. м³ до 9,6 млрд куб. м³ к 2035 году в базовом сценарии или до 13,9 млрд куб. м³ в целевом сценарии [1].

Развитие и поддержка инфраструктуры

Развитие газомоторного транспорта неразрывно связано с развитием соответствующей газозаправочной инфраструктуры. Согласно Концепции, в базовом сценарии количество газозаправочных станций должно увеличиться с 1170 в 2024 году до 2213 к 2035 году, а в целевом сценарии — до 2715 станций. В настоящее время в России насчитывается около 70 заправок сжиженным природным газом (СПГ), сосредоточенных преимущественно в Центральной России,

что позволяет использовать газ для поездок из Москвы в Екатеринбург или Сочи, хотя охват за пределами этих маршрутов остается ограниченным [5, 6].

Для стимулирования развития рынка Правительство Российской Федерации внедрило систему мер поддержки, включая субсидии на перевод транспортных средств на метан в новых регионах, таких как Республика Ингушетия, Республика Коми, Республика Марий Эл и Хабаровский край. Рассматриваются также дополнительные меры поддержки, включая налоговые льготы, льготное кредитование и лизинг, а также возможное освобождение от уплаты транспортного налога, платы за систему «Платон», платы за проезд по платным дорогам и платы за парковку. Доклад об этих мерах поддержки запланирован на 20 февраля 2026 года, что свидетельствует о приверженности правительства созданию благоприятных условий для развития отрасли [5, 6].

2. Динамика мирового рынка и прогнозы развития

Мировой рынок автомобилей, работающих на природном газе, демонстрирует устойчивый рост, обусловленный экологическими проблемами, экономическими факторами и соображениями энергетической безопасности. Согласно прогнозам, мировой рынок автомобилей на природном газе вырастет с 15,64 млрд долларов США в 2025 году до 31,06 млрд долларов США к 2035 году, со совокупным годовым темпом роста 7,1%. Азиатско-Тихоокеанский регион продолжает доминировать в сфере использования газомоторного топлива благодаря таким странам, как Индия и Китай, где государственная политика активно продвигает автомобили на природном газе в рамках более широких экологических стратегий. [1]

В Китае на начало 2024 года приходилось около 42% продаж тяжелых грузовиков, что отражает стратегическую направленность страны на сокращение выбросов и спроса на дизельное топливо. Правительство Китая оказывает финансовую поддержку приобретению грузовиков на природном газе, покрывая 20–50% стоимости транспортных средств, и построило более 5000 сетей заправок СПГ по всей стране. Кроме того, муниципальные автобусы в ключевых городах обязаны перейти на КПГ/СПГ, что демонстрирует комплексный подход к внедрению газомоторного топлива. [1]

3. Технологические инновации и тенденции развития

Технологические инновации в развитии газомоторного транспорта направлены в основном на повышение надежности и эффективности управляемых

ющих систем и их исполнительных механизмов, безопасности транспортировки и хранения газомоторного топлива, а также развитие инфраструктуры, обеспечивающей удобства в логистике заправок, а также сокращение времени заполнения баллонов. Основные тенденции в развитии газомоторных транспортных средств:

1) Перевод ДВС на двухтопливные системы питания (бензин-газ или дизель - газ) позволяют существенного до 70 % сократить потребление жидкого топлива, повысить запас хода, а также снизить выбросы СО и СН.

2) Разработка и совершенствование новых типов газовых композитных баллонов, обеспечивающим гарантированную взрыва и пожаробезопасность при относительно меньшей массе.

3) Совершенствование подготовки водителей и обслуживающего персонала, направленное на формирование компетенций профессионального обслуживания топливных систем с соблюдением культуры производства.

4) Модернизация с техническим усовершенствованием топливозаправочных станций, обеспечивающих комфортную, оперативную и безопасную заправку транспортных средств, включая развитие виртуальных трубопроводом для снабжения труднодоступных регионов РФ.

5) Эксплуатации ТС с ДВС на газомоторном топливе или двухтопливной системе питания способствует повышению ресурса ДВС за счет отсутствия детонации и нагара, лучшего смешения топливовоздушной смеси, меньшего износа цилиндропоршневой группы, особенно в зимнее время.

В российском контексте технологическое развитие сосредоточено на создании отечественных технологий для производства и эксплуатации газомоторного транспорта в соответствии с политикой страны по импортозамещению. Как отмечается в Концепции, Россия стремится к достижению технологической независимости в этом секторе, при этом такие компании, как «Газпром», оказывают инфраструктурную, технологическую и методическую поддержку. [1]

4. Экологические и экономические аспекты

Экологические преимущества перевода транспорта на газомоторное топливо неоспоримы и позволяют существенно снизить загрязнения воздуха особенно в мегаполисах. Согласно исследованиям, легковые автомобили, работающие на КПГ, выбрасывают до 20 % меньше СО₂, чем легковые автомобили, работающие на бензине. В транспортном секторе в целом использование природного газа обычно приводит к снижению выбросов СО₂ примерно на 20%,

CO₂ – на 97%, углеводородов – на 72% и оксидов азота – на 30% по сравнению с традиционными видами нефтяного топлива (табл. 2).

Экономия средств на топливо при переходе на газ, также является значительным стимулом и позволяет существенно сократить издержки не только при коммерческом применении транспорта, но и личного. В среднем экономия составляет до 140 тыс. р/год при эксплуатации легкового автомобиля в режиме такси, а для грузовых машин, автобусов и специального транспорта экономия будет еще в 1,5-2 раза выше.

Таблица 2 – Сравнительные экологические характеристики различных видов топлива [1, 2]

Тип выбросов	Снижение по сравнению с бензином/дизельным топливом	Вид транспорта
CO ₂	на 20 %	общественный
CO	на 95 %	общественный
HC	на 70 %	общественный
NO _x	на 30 %	общественный
CO ₂	на 10 %	общественный
твёрдые частицы	отсутствуют	легковой

5. Факторы, препятствующие активному переходу на газомоторное топливо

Кроме существующих факторов, рассмотренных выше и указывающих на целесообразность применения газа в качестве топлива, имеются также объективные и субъективные проблемы и задачи, препятствующие динамичному и масштабному переходу транспорта на газ, а именно:

1) Непрерывное повышение стоимости газа, нестабильность его стоимости, связанная с растущим спросом на мировом рынке, применение альтернативных источников энергии, политическая нестабильность и т.п. такое нестабильное состояние цен не привлекает потребителей, так как может свести к нулю предполагаемый экономический эффект от перевода автомобиля с нефтяного топлива на газ;

2) Отсутствие или недостаточная развитость инфраструктуры как заправочных станций, так и специализированных станций технического обслуживания и установки газобаллонного оборудования, и специалистов. По состоянию на 2025 год в России насчитывается всего 70 заправочных станций СПГ, в основном сосредоточенных в Центральной России. В то время как такие крупные транспортные коридоры, как Москва-Екатеринбург и Москва-Сочи, постепенно охватываются, обширные регионы страны остаются без адекватных возможностей для заправки, что создает порочный круг: ограниченная инфраструктура

препятствует приобретению автомобилей, что, в свою очередь, подрывает экономическую целесообразность расширения инфраструктуры. [6-7].

3) Технические сложности, обусловленные широкой номенклатурой марок автотранспортных средств, спецтехники и автобусов зарубежных производителей. Это создает трудности в выборе схемы монтажа газобаллонного оборудования на конкретную модель, особенно азиатских производителей, по автомобилям которых недостаточно наработан опыт устройства обслуживания и ремонта [8-10]. Двигатели отдельных марок как зарубежного, так и отечественного производства (рис.) не приспособлены к работе на газомоторном топливе или плохо переносят эксплуатацию на газовом топливе, детали их выпускной системы и в первую очередь клапана и их посадочные втулки (седла) не обладая достаточной для работы на газе жаропрочностью могут деформироваться, при этом двигателю требуется сложный дорогостоящий ремонт



а – общий вид; б – вид клапана, вышедшего из строя

Рисунок – Состояние ГБЦ двигателя ЗМЗ-406.1 после отказа

4) Кроме этого, существуют субъективные факторы, связанные с негативным восприятием потребителями необходимости технического вмешательства в двигатель при установке ГБО, особенно новый автомобиль, которое может оказаться на возможном снижении надежности автомобиля или отказом дилера от гарантийных обязательств. Немаловажное значение также имеет бо́льшь потребителей эксплуатировать автомобиль, в салоне которого находится баллон с сжиженным СНГ или сжатым природным (КПГ) газом, который они осознают, как потенциальную опасность в случае утечек при поломке или ДТП, даже несмотря на гарантированную прочность баллонов, наличие на баллоне несколько клапанов, предохраняющих баллон как при утечках, так и пожаре.

5) Газовые баллоны на легковом автомобиле устанавливаются преимущественно в багажном отсеке. Это объективно сокращает полезный объем багажника, что также является аргументом потребителей против установки ГБО.

7. Заключение и выводы

Планы правительства РФ по развитию рынка в ближайшее десятилетие призваны обеспечить формирование новый сегмент экономики, включающий как повышение производства отечественных газомоторных автомобилей, так и переоборудование существующих, а также развитие инфраструктуры. На все эти задачи выделяются существенные бюджетные средства. Но для успешного достижение целевых показателей потребуется также параллельно развивать обучающие программы для молодых водителей в автошколах, реализовывать программы ознакомления и популяризации газомоторного транспорта для водителей со стажем. Кроме этого, по ряду вопросов, связанных с повышением надежности, безопасности, экологичности и эффективности эксплуатации газомоторных и двухтопливных транспортных средств потребуется проведении НИОКР с целью непрерывного повышения качества и эффективности эксплуатации газомоторных ТС.

На основе проведенного аналитического обзора можно сделать основные выводы:

1. В ближайшие годы в РФ ожидается активное развитие газовой инфраструктуры;

2. Ожидается кратное увеличение числа газомоторных автомобилей;

3. Приоритетом в создании новых образовательных программ, в частности, среднего профессионального обучения станет технического обслуживание и ремонта газомоторных и двухтопливных двигателей;

4. Грантовая поддержка молодых ученых и специалистов, также будет ориентирована на НИОКР в области совершенствования техники и технологий на газомоторном транспорте.

5. Со стороны государства ожидается комплекс мер по стабилизации цен на природный газ и субсидирование предприятий и частных владельце по переводу транспорта на газ, а также различного рода поощрений (акции, льготы и т.п.).

6. С учетом стратегической политики импортозамещения ожидается развитие смешных к газу отраслей производства, переработки и транспортировки газового топлива, технических компонентов, оборудования и т.п.

7. Возможно ужесточения экологических норм и требований к транспортным средствам на жидким топливе в виде повышения налогов др. мер.

Список литературы

1. Рост рынка автомобильных газовых транспортных средств - тенденции и прогноз на 2025 по 2035 гг . URL: <https://www.futuremarketinsights.com/ru/reports/automotive-natural-gas-vehicle-market>
2. Analysis of China's Natural Gas Heavy-Duty Truck Industry Chain, Development Environment, Market Sales and Trends in 2025: Market sales hit a record high, and are expected to continue to increase in the future. URL: <https://finance.sina.com.cn/stock/relnews/hk/2025-08-20/doc-infmqwak0509348.shtml>
3. 8 сентября 2025 года — исторический день для рынка газомоторного топлива. URL: <https://gmt.gazprom.ru/press/news/2025/09/452/>
4. Газомоторное топливо в России: планы производства техники и транспорта. URL: <https://sdexpert.ru/news/project/gazomotornoe-toplivo-v-rossii-plany-proizvodstva-tehniki-i-transporta/>
5. Утверждена Концепция развития рынка газомоторного топлива до 2035 года. URL: <https://seanews.ru/2025/09/09/ru-utverzhdena-koncepcija-razvitiya-rynka-gazomotornogo-topliva-do-2035-goda/>
6. Регионы переводят общественный транспорт на новое топливо. URL: <https://rg.ru/2025/10/07/gaz-raduetsia.html>
7. Газомоторное топливо в России: планы производства техники и транспорта. URL: <https://sdexpert.ru/news/project/gazomotornoe-toplivo-v-rossii-plany-proizvodstva-tehniki-i-transporta/>
8. Ипатов А.А. Приоритетные вопросы организации устойчивого развития автомобильной промышленности. – М., Сб. научных трудов по материалам докладов на III Международном автомобильном научном форуме (МАНФ) в ТНЦ РФ «НАМИ», вып. 236. – 2006. – с. 5-16.
9. Переход автотранспорта на природный газ: нормативно-справочное пособие /А.И. Морев, П.Г. Загладин, О.А. Петренко и др. - М., ИРЦ ГАЗпром, 1995. – с. 140.
10. Коноплев В.Н. Формирование топливно-скоростных качеств грузовых автотранспортных средств серийного производства, работающих на газомоторных топливах... М., РНЦ «Курчатовский институт» 2006. – 147 с.

References

1. Automotive Natural Gas Vehicle Market Growth - Trends and Forecast for 2025 to 2035. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/ru/reports/automotive-natural-gas-vehicle-market>
2. Analysis of China's Natural Gas Heavy-Duty Truck Industry Chain, Development Environment, Market Sales, and Trends in 2025: Market sales hit a record high and are expected to continue to increase in the future. URL: <https://finance.sina.com.cn/stock/relnews/hk/2025-08-20/doc-infmqwak0509348.shtml>
3. September 8, 2025 – a historic day for the natural gas vehicle fuel market. URL: <https://gmt.gazprom.ru/press/news/2025/09/452/>
4. Natural Gas Motor Fuel in Russia: Equipment and Transport Production Plans. URL: <https://sdexpert.ru/news/project/gazomotornoe-toplivo-v-rossii-plany-proizvodstva-tehniki-i-transporta/>
5. The Concept for the Development of the Natural Gas Motor Fuel Market through 2035 has been approved. URL: <https://seanews.ru/2025/09/09/ru-utverzhdena-koncepcija-razvitiya-rynka->

gazomotornogo-topliva-do-2035-goda/

6. Regions are switching public transport to a new fuel URL: <https://rg.ru/2025/10/07/gaz-raduetsia.html>

7. Gas motor fuel in Russia: plans for the production of equipment and transport. URL: <https://sdexpert.ru/news/project/gazomotornoе-toplivo-v-rossii-plany-proizvodstva-tehniki-i-transporta/>

8. Ipatov A.A. Priority issues of organizing the sustainable development of the automotive industry. - Moscow, Collection of scientific papers based on the materials of reports at the III International Automobile Scientific Forum (IASF) in the TNC RF "NAMI", issue. 236. – 2006. – pp. 5-16.

9. Transition of Motor Transport to Natural Gas: A Reference Manual /A.I. Morev, P.G. Zagladin, O.A. Petrenko, et al. - M., IRC GAZprom, 1995. – p. 140.

10. Konoplev V.N. Formation of Fuel-Speed Qualities of Serial-Produced Freight Vehicles Running on Gas Motor Fuels... M., RRC "Kurchatov Institute", 2006. – 147 p.

Посметьев В.И.

доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
машиностроительных технологий ФГБОУ
ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г.Ф.
Морозова», г. Воронеж, РФ

Никонов В.О.

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры производства, ремонта и
эксплуатации машин ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г.Ф.
Морозова», г. Воронеж, РФ

Posmetev V.I.

dr. sci. tech. prof., prof. of department of
mechanical engineering technologies Federal State
Budget Educational Institution of Higher Education
«Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov»,
Voronezh, Russian Federation

Nikonov V.O.

Ph. D., associate professor of production, repair
and operation of cars Federal State Budget
Educational Institution of Higher Education
"Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

О КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ON THE CONCEPT OF A SYSTEMIC APPROACH TO SOLVING PROBLEMS OF AUTOMOBILE TRANSPORT IN URBAN AREAS

Аннотация. В статье обоснована необходимость перехода от несистемных мер к комплексной перестройке городской транспортной системы в условиях глобальной урбанизации и роста автомобилизации. Проанализирован мировой опыт решения транспортных проблем, включая технологические, инфраструктурные и управленические подходы, и выявлены их системные ограничения. Предложена авторская концепция интегрированной транспортной экосистемы, включающая пять ключевых блоков: «умные» дороги, комплексные технические центры, централизованное энергообеспечение, автономный электротранспорт и единую систему диспетчеризации. Установлено, что эффективность современных решений снижается из-за их разрозненности и отсутствия синергии между технологическими компонентами и управленическими платформами. Выявлено, что ключевыми барьерами для создания устойчивой транспортной системы являются неразвитая инфраструктура для электротранспорта, децентрализованное управление потоками и неэффективное использование городского пространства.

Abstract. This article substantiates the need to transition from ad hoc measures to a comprehensive restructuring of the urban transport system in the context of global urbanization and growing motorization. Global experience in addressing transport issues, including technological, infrastructural, and management approaches, is analyzed, and their systemic limitations are identified. The author proposes a concept for an integrated transport ecosystem, comprising five key components: smart roads, integrated technical centers, centralized energy supply, autonomous electric transport, and a unified dispatching system. It is established that the effectiveness of current solutions is reduced by their fragmentation and the lack of synergy between technological components and management platforms. The key barriers to creating a sustainable transport system are underdeveloped infrastructure for electric transport, decentralized traffic management, and inefficient use of urban space.

Ключевые слова: городской транспорт, автомобилизация, транспортная система, умная дорожная инфраструктура, автономный транспорт, экологическая безопасность, устойчивая мо-

бильность, интеллектуальное управление, транспортная экосистема, электрический транспорт.

Keywords: urban transport, motorization, transport system, smart road infrastructure, autonomous transport, environmental safety, sustainable mobility, intelligent management, transport ecosystem, electric transport.

Современный этап глобального развития характеризуется исключительными темпами урбанизации. По прогнозам, к 2050 г. городское население достигнет 6,7 млрд. человек, а количество автомобилей в мире удвоится. Этот рост не только свидетельствует об экономическом прогрессе, но и порождает комплекс острых, системных проблем, угрожающих устойчивому развитию и качеству жизни [1].

В Российской Федерации автомобильный транспорт является доминирующим источником негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения. На его долю приходится до 22 % всех вредных выбросов, что в абсолютном выражении составляет до 4,8 млн. тонн загрязняющих веществ ежегодно. Выхлопные газы – это сложная смесь, содержащая более 200 видов вредных соединений, включая канцерогены, тяжелые металлы и высокотоксичные оксиды азота. Дополнительными, но не менее значимыми источниками загрязнения, являются продукты механического износа шин и тормозных колодок, а также хлориды, массово используемые для обработки дорог в зимний период. Проблема носит не только глобальный и общенациональный характер, но и ярко выражена на региональном уровне [2].

Помимо катастрофического экологического ущерба, автомобилизация порождает целый комплекс социально-экономических проблем. Постоянно возникающие дорожные заторы стали неизменным атрибутом крупных городов. Не менее острой является проблема аварийности: ежегодно на дорогах мира гибнет около 1,2 млн. чел., а более 50 млн. получают травмы, что делает дорожно-транспортные происшествия одной из ведущих причин смертности. Дефицит городского пространства проявляется в острой нехватке мест для дорог и стоянок. Кроме этого, установлено, что около 30 % транспортных средств в крупных городах в любой момент времени находятся в поиске парковочного места, что усиливает заторы. Усугубляет ситуацию и проблема утилизации автомобилей, выводящих из строя транспортные средства, которые годами занимают парковочное пространство, а также необходимость утилизации опасных отходов, таких как отработанные аккумуляторы и масла [3].

Мировой опыт демонстрирует многообразие попыток решения обозначенных проблем (табл. 1), которые можно систематизировать в несколько ключевых направлений. Технологические меры нацелены на снижение негативного

воздействия самого транспортного средства. Наиболее эффективным инструментом здесь признано поэтапное повышение экологических стандартов, таких как внедрение норм Евро-4 ... Евро-6, которое позволяет сократить выбросы парниковых газов в 9 раз, а загрязняющих веществ – в 2-3 раза. Параллельно ведется активная работа по переводу транспорта на альтернативные виды топлива: сжиженный и сжатый природный газ, биодизель. Стратегическим направлением считается развитие электротранспорта. Однако его распространению, как отмечают исследователи, препятствуют три ключевые проблемы: высокая стоимость, отсутствие разветвленной зарядной инфраструктуры и ограниченный запас хода, что актуализирует поиск решений в области организации энергообеспечения [4-8].

Таблица 1 – Возможные варианты решения проблемы

№ п/п	Название решения	Суть решения	Преимущества	Недостатки
1	Развитие общественного транспорта	Создание высокоскоростных транспортных систем (метро, трамваи, автобусы)	Снижение нагрузки на дороги, экологичность, доступность для всех слоев населения	Высокие капитальные затраты, длительные сроки реализации
2	Электрификация транспорта	Массовый переход на электромобили с созданием зарядной инфраструктуры	Нулевые выбросы, снижение шума, меньшая зависимость от нефти	Высокая стоимость, ограниченный запас хода, проблемы утилизации батарей
3	Интеллектуальные транспортные системы	Внедрение интегрального управления движением, умных светофоров, систем мониторинга	Оптимизация транспортных потоков, снижение заторов, повышение безопасности	Высокая стоимость внедрения, уязвимость к кибератакам
4	Транзитно-ориентированное развитие	Планирование городской застройки вокруг транспортных узлов	Сокращение расстояний поездок, развитие местных сообществ	Длительный процесс перепланировки, высокая стоимость земли
5	Политика управления парковками	Введение платных парковок, ограничение парковочных мест	Снижение трафика в центре города, генерация доходов для города	Непопулярность среди населения, риск оттока бизнеса
6	Мобильность как услуга	Интеграция различных видов транспорта в единую платформу	Удобство для пользователей, оптимизация использования транспорта	Технологическая сложность, зависимость от мобильных технологий
7	Стимулирование каршеринга	Развитие систем краткосрочной аренды автомобилей	Снижение количества автомобилей на дорогах, экономия для пользователей	Ограниченная доступность в пригородах, проблемы с парковкам

№ п/п	Название решения	Суть решения	Преимущества	Недостатки
8	Развитие велоинфраструктуры	Создание защищенных велодорожек, велопарковок, систем велопроката	Нулевые выбросы, польза для здоровья, низкая стоимость инфраструктуры	Сезонность использования, ограниченная дальность поездок
9	Зоны с низкими выбросами	Введение ограничений на въезд для транспортных средств с высокими выбросами	Улучшение качества воздуха, ускорение перехода на экологичный транспорт	Социальное неравенство, негативное влияние на бизнес
10	Автономный транспорт	Внедрение беспилотных автомобилей и систем управления движением	Повышение безопасности, оптимизация потоков, доступность	Высокие затраты на разработку, юридические и этические вопросы
11	Многоуровневые транспортные развязки	Строительство эстакад, тоннелей, многоуровневых парковок	Увеличение пропускной способности, снижение заторов, экономия пространства	Очень высокие капитальные затраты, длительное строительство
12	Тарифная политика	Введение платы за пробки, повышение налогов на топливо и авто	Снижение трафика в часы пик, генерация доходов для развития транспорта	Непопулярность, социальное неравенство, риск снижения экономической активности
13	Телематические решения	Внедрение систем удаленной работы, онлайн-услуг	Снижение трафика, экономия времени, повышение производительности	Социальная изоляция, технические требования
14	Интегрированные транспортные хабы	Создание узлов пересадки между различными видами транспорта	Удобство пересадок, снижение времени в пути, развитие интеграции	Требует скоординированного планирования, занимает территории
15	Городские логистические узлы	Организация центров консолидации грузов для доставки	Снижение грузового трафика в центре, оптимизация доставки	Дополнительные затраты на логистику, необходимость координации

Инфраструктурные и градостроительные подходы фокусируются на изменении среды для оптимизации транспортных потоков. Сюда относится развитие высокоскоростного и удобного общественного транспорта, включая системы скоростного автобусного сообщения, называемые «метро на поверхности». Активно внедряются интеллектуальные транспортные системы для мониторинга, прогнозирования движения и адаптивного управления светофорами. В градостроительстве доминируют концепции устойчивой городской мобильности, такие как транзитно-ориентированное развитие, предполагающее концен-

трацию жилой, коммерческой и деловой застройки вокруг транспортных узлов, и «город 15-минутной доступности», где все основные услуги доступны в пешей досягаемости [9-16].

Значительное внимание уделяется управлению парковочным пространством. Происходит переход от парадигмы «чем больше парковок, тем лучше» к политике управления спросом. Это включает введение динамического ценообразования, которое в часы пик делает парковку на улице менее привлекательной по сравнению с многоуровневыми гаражами, и жесткое ограничение парковочных мест в новой застройке. Технологическим ответом стало создание интеллектуальных парковочных систем, основанных на сетях датчиков интернета вещей, компьютерном зрении и мобильных приложениях, позволяющих резервировать и оплачивать место. Популярность набирают модели совместного использования транспорта (каршеринг, карпулинг), которые интегрируются в платформы «Мобильность как услуга». Такая платформа объединяет различные виды транспорта в едином интерфейсе, предлагая пользователю беспересадочный маршрут с единым платежом. В качестве перспективной альтернативы некоторыми учеными рассматривается струнный транспорт, кардинально решающий проблемы пробок и экологии за счет выноса движения на второй уровень [17-26].

Проведенный анализ демонстрирует, что, несмотря на многообразие существующих подходов к решению проблем автомобилизации, все они носят преимущественно точечный характер и зачастую не учитывают системных взаимосвязей между элементами транспортной системы.

Технологические меры упираются в барьеры стоимости и инфраструктуры, инфраструктурные – в высокую капиталоемкость и длительные сроки реализации, а управленические – в социальное сопротивление. Таким образом, становится очевидной несостоятельность точечных решений, что диктует требование к созданию принципиально новой, системной стратегии управления городской мобильностью, которая интегрировала бы разрозненные решения в единый механизм. Именно такую задачу ставит перед собой разработанная авторами концепция комплексной перестройки транспортной системы города. Ее реализация предполагает скоординированное развитие следующих пяти ключевых блоков.

Первый блок – фундаментальная перестройка дорожной инфраструктуры. Речь идет не о простом ремонте, а о создании «умных» дорог нового поколения. Их основой станет система бесконтактной (индукционной) передачи электроэнергии для подзарядки электромобилей непосредственно в движении, что снимает проблему малого запаса хода. Такие дороги будут оснащены распределен-

ленными сетями датчиков для сбора данных в реальном времени, которые будут обрабатываться системами автоматического контроля и управления движением на основе искусственного интеллекта. Это позволит реализовать адаптивное управление светофорами, формирование «зеленой волны» и перенаправление потоков. Конструктивно инфраструктура будет включать надежный ливневый отвод для предотвращения подтоплений и систему обогрева дорожного полотна в зимний период, что позволит полностью отказаться от применения вредных хлоридов.

Второй блок – создание сети комплексных технических центров, выполняющих роль узловых точек новой транспортной экосистемы. Их рациональное размещение на территории города будет проводиться на основе сложного математического моделирования, с учетом данных о транспортных потоках, статистике дорожно-транспортных происшествий, возрастной структуре автопарка и плотности населения. Эти центры будут представлять собой многофункциональные комплексы, совмещающие автоматизированные многоуровневые паркинги с лифтовыми системами, значительно увеличивающими емкость на ограниченной площади; службы технического обслуживания, ремонта и эвакуации; пункты сбора и первичной переработки отходов; а также узлы длястыковки различных видов мобильности (пересадка на общественный транспорт, каршеринг).

Третий блок решает критический вопрос организации энергообеспечения всей системы. Для питания энергоемкой инфраструктуры (зарядка транспорта, обогрев дорог, работа комплексных технических центров) предлагается использовать мощные централизованные источники с низкоуглеродным следом, такие как атомные электростанции или перспективные термоядерные станции. Передача энергии будет осуществляться бесконтактным способом по кабелям, интегрированным в дорожное полотно, и через сеть релейных станций. Такой подход позволит обеспечить стабильное и достаточное энергоснабжение, минимизировав пиковые нагрузки на городскую сеть, которые неизбежно возникнут при массовой электрификации транспорта. Для повышения надежности и автономности отдельных объектов возможно использование гибридных систем с интеграцией солнечных панелей и накопителей энергии.

Четвертый блок – разработка и внедрение специализированных электропилотов (автономного электротранспорта) с электрическим приводом для выполнения всего спектра городских задач. Речь идет о создании целого семейства беспилотных транспортных средств различного назначения: автобусы, такси, грузовой транспорт, а также спецмашины (эвакуаторы, уборочная и аварий-

но-спасательная техника). Их управление будет основано на продвинутых системах поведенческого планирования и алгоритмах прогнозного управления, позволяющих транспортным средствам безопасно взаимодействовать друг с другом и с инфраструктурой в режиме реального времени, формировать автоколонны для экономии энергии и выполнять сложные маневры, такие как автоматическая парковка.

Заключительный, системообразующий блок – внедрение единой централизованной системы диспетчеризации и управления, обеспечивающей стыковку городских и межгородских перевозок. Эта система будет построена на принципах платформы «Мобильность как услуга» следующего поколения и глобально-го информационного центра, аккумулирующего данные со всех датчиков и транспортных средств. С помощью алгоритмов машинного обучения и оптимизации она будет в реальном времени управлять логистическими потоками, распределять автономные транспортные средства для выполнения заказов, оптимизировать маршруты общественного транспорта и предоставлять пользователям беспересадочные мультимодальные маршруты через единый интерфейс с автоматизированными расчетами. Это позволит максимально эффективно использовать весь транспортный ресурс города, минимизировать холостые пробеги и обеспечить доступность транспортных услуг для всех категорий граждан.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о системной ограниченности существующих подходов к решению проблем автомобилизации, которые носят фрагментарный характер. Разработанная концепция комплексной перестройки транспортной системы представляет собой целостную парадигму, синтезирующую последние достижения в области энергетики, цифровизации и градостроительства. Её ключевым преимуществом является синергетический эффект от интеграции пяти блоков: «умных» дорог, комплексных технических центров, централизованного энергообеспечения, автономного электротранспорта и единой системы диспетчеризации. Реализация данной модели позволит перейти от борьбы с последствиями к здравовременному формированию устойчивой городской среды, обеспечив значительный экологический эффект (снижение выбросов до 90%), экономический эффект (ликвидация потерь от зато-ров и высвобождение городских территорий) и социальный эффект (повышение безопасности, доступности и комфорта).

Ключевыми перспективными направлениями для дальнейших исследований в данной области являются: разработка детальных математических моделей для оптимизации взаимодействия всех элементов; проведение пилотных проек-

тов по внедрению ключевых технологий, таких как участки дорог с индукционной зарядкой; исследование устойчивости энергосистемы мегаполиса при массовой зарядке транспорта; анализ и адаптация нормативно-правовой базы для регулирования автономного транспорта; а также изучение социально-психологических аспектов готовности населения к использованию беспилотных систем. Комплексная реализация этих направлений заложит основу для создания интегрированной, экологически чистой и высокоэффективной транспортной экосистемы города будущего.

Список литературы

1. К 2050 году количество автомобилей на планете удвоится. URL: <https://www.miit.ru/news/166770>. Загл. с экрана. (Дата обращения 18.11.2025).
2. На автотранспорт приходится 22 % всего загрязнения воздуха в России. URL: <https://www.rambler.ru/eco/priroda/55342099-na-avtotransport-prihoditsya-22-vsego-zagryazneniya-vozduha-v-rossii/>. Загл. с экрана. (Дата обращения 18.11.2025).
3. Каждый год в мире на дорогах погибает около 1,2 млн человек, ещё 50 млн получают травмы. URL: <https://ot-media.ru/news/kazhdyy-god-v-mire-na-dorogakh-pogibaet-okolo-12-mln-chelovek-eschyo-50-mln-poluchayut-travmy/>. Загл. с экрана. (Дата обращения 18.11.2025).
4. Baronchelli M., Falabretti D., Gulotta F. Power demandpatterns of public electric vehiclecharging : a 2030 forecast based onreal-life data. *Sustainability* 2025, 17,1028. URL: <https://doi.org/10.3390/su17031028>.
5. Perez J., Nashashibi F., Lefaudoux B., Resende P., Pollard E. Autonomous docking based on infrared system for electricvehicle charging in urban areas. *Sensors* 2013, 13, 2645-2663; doi:10.3390/s130202645.
6. Hardingham M., Anderson J. E., Nobis C., Stark K., Vladova G. Booking publiccharging : user preferences andbehavior towards public charginginfrastructure with a reservationoption. *Electronics* 2022, 11, 2476. <https://doi.org/10.3390/electronics11162476>.
7. Straub F., Maier O., Göhlich D. Car-access attractivenessof urban districts regardingshopping and working trips forusage in e-mobility trafficsimulations. *Sustainability* 2021, 13,11345.
8. Szagal P., Brzezinski A., Dybicz T., Olszewski P., Osinska B. Problems with implementationofsustainable urban mobility inselected polish cities. *Sustainability*2024, 16, 11003. <https://doi.org/10.3390/su162411003>.
9. Berg J., Henriksson M., Ihlström J. Comfort first! Vehicle-sharing systems in urbanresidential areas : the importance for everydaymobility and reduction of car use among pilot users. *Sustainability* 2019, 11, 2521; doi:10.3390/su11092521.
10. Rye T., Hrelja R. Policies for reducing car traffic and their problematisation. Lessons from the mobility strategies of British, Dutch, German and Swedish cities. *Sustainability* 2020, 12, 8170; doi:10.3390/su12198170.
11. Gunnarsson-Ostling U. Housing design and mobility convenience – the caseof Sweden. *Sustainability* 2021, 13, 474. <https://doi.org/10.3390/su13020474>.
12. Sun Y., Wu M., Li H. Using GPS trajectories to adaptivelyplan bus lanes. *Appl. Sci.* 2021, 11,1035. <https://doi.org/10.3390/ app11031035>.
13. WangH., ChenY.F., Min R., Chen Y. K. Urban DAS dataprocessing and its preliminaryapplication to city trafficmonitoring. *Sensors* 2022, 22, 9976.<https://doi.org/10.3390/s22249976>.
14. Ranieri L., Digiesi S., Silvestri B., Roccotelli M. A review of last mile logistics

innovations in an externalities cost reduction vision. *Sustainability* 2018, 10, 782; doi:10.3390/su10030782.

15. Machado C.A., Hue N.P.M., Berssaneti F.T., Quintanilha J.A. An overview of shared mobility. *Sustainability* 2018, 10, 4342; doi:10.3390/su10124342.

16. FilippiF. A paradigm shift for a transition to sustainable urban transport. *Sustainability* 2022, 14, 2853. <https://doi.org/10.3390/su14052853>.

17. LongN.V., LinhH.T., TuanV.A. Towards smart parking management: econometric analysis and modeling of public-parking-choice behavior in three cities of Binh Duong, Vietnam. *Sustainability* 2023, 15, 16936. <https://doi.org/10.3390/su152416936>.

18. Zhang C., Zhou R., Lei L., Yang X. Research on automatic parking system strategy. *World Electr. Veh. J.* 2021, 12, 200. <https://doi.org/10.3390/wevj12040200>.

19. Ortega J., Hamadneh J., Esztergár-Kiss D., Toth J. Simulation of the daily activity plans of travelers using the park-and-ride system and autonomous vehicles: work and shopping trip purposes. *Appl. Sci.* 2020, 10, 2912; doi:10.3390/app10082912.

20. Mikusova M., Abdunazarov J., Zukowska J., Jagelcak J. Designing of parking spaces on parking taking into account the parameters of design vehicles. *Computation* 2020, 8, 71; doi:10.3390/computation8030071.

21. Hossen M.I., Goh K.O.M., Tee C., Lau S. H., Hossain F. Smartphone-based context flow recognition for outdoor parking system with machine learning approaches. *Electronics* 2019, 8, 784; doi:10.3390/electronics8070784.

22. Ali G., Ali T., Irfan M., Draz U., Sohail M., Glowacz A., Sulowicz M., Mielnik R., Faheem Z. B., Martis C. IoT based smart parking system using deep long short memory network. *Electronics* 2020, 9, 1696; doi:10.3390/electronics9101696.

23. Coulibaly M., Errami A., Belkhala S., Medromi H. A live smart parking demonstrator : architecture, data flows, and deployment. *Energies* 2021, 14, 1827. <https://doi.org/10.3390/en14071827>.

24. Olszewski R., Pałka P., Turek A. Solving «Smart city» transport problems by designing carpooling gamification schemes with multi-agent systems : the case of the so-called «Mordor of Warsaw». *Sensors* 2018, 18, 141; doi:10.3390/s18010141.

25. ArizalaA., ZubizarretaA., Perez J. A complete framework for a behavioral planner with automated vehicles : A car-sharing fleet relocation approach. *Sensors* 2022, 22, 8640. <https://doi.org/10.3390/s22228640>.

26. Lage M. d. O., Machado C.A.S., Monteiro C. M., Davis C. A., Yamamura C.L.K., Berssaneti F.T., Quintanilha J.A. Using hierarchical facility location, single facility approach, and GIS in carsharing services. *Sustainability* 2021, 13, 12704. <https://doi.org/10.3390/su132212704>.

References

1. By 2050, the number of cars on the planet will double. URL: <https://www.miit.ru/news/166770>. Headline from the screen. (Accessed on November 18, 2025).
2. Motor vehicles account for 22 % of all air pollution in Russia. URL: <https://www.rambler.ru/eco/priroda/55342099-na-avtotransport-prihoditsya-22-vsego-zagryazneniya-vozduha-v-rossii/>. Headline from the screen. (Accessed on November 18, 2025).
3. Every year, about 1,2 million people die on the roads worldwide, and another 50 million are injured. URL: <https://ot-media.ru/news/kazhdyy-god-v-mire-na-dorogakh-pogibaet-okolo-12-mln-chelovek-eschyo-50-mln-poluchayut-travmy/>. Headline from the screen. (Accessed 18.11.2025).
4. Baronchelli M., Falabretti D., Gulotta F. Power demand patterns of public electric vehicle charging : a 2030 forecast based on real-life data. *Sustainability* 2025, 17, 1028. <https://doi.org/10.3390/su17031028>.
5. Perez J., Nashashibi F., Lefaudeux B., Resende P., Pollard E. Autonomous docking based on infrared system for electric vehicle charging in urban areas. *Sensors* 2013, 13, 2645-2663; doi:10.3390/s130202645.
6. Hardingham M., Anderson J. E., Nobis C., Stark K., Vladova G. Booking public charging

: user preferences and behavior towards public charging infrastructure with a reservation option. *Electronics* 2022, 11, 2476. <https://doi.org/10.3390/electronics11162476>.

7. Straub F., Maier O., Göhlich D. Car-access attractiveness of urban districts regarding shopping and working trips for usage in e-mobility traffic simulations. *Sustainability* 2021, 13, 11345.

8. Szagala P., Brzezinski A., Dybicz T., Olszewski P., Osinska B. Problems with implementation of sustainable urban mobility in selected polish cities. *Sustainability* 2024, 16, 11003. <https://doi.org/10.3390/su162411003>.

9. Berg J., Henriksson M., Ihlström J. Comfort first! Vehicle-sharing systems in urban residential areas : the importance for everyday mobility and reduction of car use among pilot users. *Sustainability* 2019, 11, 2521; doi:10.3390/su11092521.

10. Rye T., Hrelja R. Policies for reducing car traffic and their problematisation. Lessons from the mobility strategies of British, Dutch, German and Swedish cities. *Sustainability* 2020, 12, 8170; doi:10.3390/su12198170.

11. Gunnarsson-Ostling U. Housing design and mobility convenience – the case of Sweden. *Sustainability* 2021, 13, 474. <https://doi.org/10.3390/su13020474>.

12. Sun Y., Wu M., Li H. Using GPS trajectories to adaptively plan bus lanes. *Appl. Sci.* 2021, 11, 1035. <https://doi.org/10.3390/app11031035>.

13. Wang H., Chen Y.F., Min R., Chen Y. K. Urban DAS data processing and its preliminary application to city traffic monitoring. *Sensors* 2022, 22, 9976. <https://doi.org/10.3390/s22249976>.

14. Ranieri L., Digiesi S., Silvestri B., Roccotelli M. A review of last mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision. *Sustainability* 2018, 10, 782; doi:10.3390/su10030782.

15. Machado C.A., Hue N.P.M., Berssaneti F.T., Quintanilha J.A. An overview of shared mobility. *Sustainability* 2018, 10, 4342; doi:10.3390/su10124342.

16. Filippi F. A paradigm shift for a transition to sustainable urban transport. *Sustainability* 2022, 14, 2853. <https://doi.org/10.3390/su14052853>.

17. Long N.V., Linh H.T., Tuan V.A. Towards smart parking management: econometric analysis and modeling of public-parking-choice behavior in three cities of Binh Duong, Vietnam. *Sustainability* 2023, 15, 16936. <https://doi.org/10.3390/su152416936>.

18. Zhang C., Zhou R., Lei L., Yang X. Research on automatic parking system strategy. *World Electr. Veh. J.* 2021, 12, 200. <https://doi.org/10.3390/wevj12040200>.

19. Ortega J., Hamadneh J., Esztergár-Kiss D., Toth J. Simulation of the daily activity plans of travelers using the park-and-ride system and autonomous vehicles: work and shopping trip purposes. *Appl. Sci.* 2020, 10, 2912; doi:10.3390/app10082912.

20. Mikusova M., Abdunazarov J., Zukowska J., Jagelcak J. Designing of parking spaces on parking taking into account the parameters of design vehicles. *Computation* 2020, 8, 71; doi:10.3390/computation8030071.

21. Hossen M.I., Goh K.O.M., Tee C., Lau S. H., Hossain F. Smartphone-based context flow recognition for outdoor parking system with machine learning approaches. *Electronics* 2019, 8, 784; doi:10.3390/electronics8070784.

22. Ali G., Ali T., Irfan M., Draz U., Sohail M., Glowacz A., Sulowicz M., Mielnik R., Faheem Z. B., Martis C. IoT based smart parking system using deep long short memory network. *Electronics* 2020, 9, 1696; doi:10.3390/electronics9101696.

23. Coulibaly M., Errami A., Belkhala S., Medromi H. A live smart parking demonstrator : architecture, data flows, and deployment. *Energies* 2021, 14, 1827. <https://doi.org/10.3390/en14071827>.

24. Olszewski R., Pałka P., Turek A. Solving «Smart city» transport problems by designing carpooling gamification schemes with multi-agent systems : the case of the so-called «Mordor of Warsaw». *Sensors* 2018, 18, 141; doi:10.3390/s18010141.

25. ArizalaA., ZubizarretaA., Perez J. A complete framework for a behavioral planner with automated vehicles : A car-sharing fleet relocation approach. Sensors2022, 22, 8640. <https://doi.org/10.3390/s22228640>.
26. Lage M. d. O., Machado C.A.S., Monteiro C. M., Davis C. A., Yamamura C.L.K., Berssaneti F.T., Quintanilha J.A. Using hierarchical facility location, single facility approach, and GIS in carsharing services. Sustainability 2021, 13, 12704. <https://doi.org/10.3390/su132212704>.

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Колядин П.А.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Pryadkin V.I.

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Kolyadin P.A.

assistant of the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

ДИНАМИЧЕСКАЯ НАГРУЖЕННОСТЬ ШТАНГ САМОХОДНОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ НА ШИНАХ СВЕРХНИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

DYNAMIC LOADING OF SELF-PROPELLED SPRAYER RODS ON ULTRA-LOW PRESSURE TIRES

Аннотация. В статье дан обзор современных технологий, применяемых в штангах самоходных опрыскивателей. Рассмотрение технологий приведено на примере Pantera 7004 компании «AMAZONE». Рассмотрены принципы работы технологий штанг: системы складывания штанг Flex, системы автоматического поднятия Auto Lift, технологии поддержания высоты Distance Controlplus, технологии горизонтального выравнивания Contour Control и системы компенсации горизонтальных колебаний Swing Stop. Комплексное применение различных технологий удержания штанг при большом удлинении штанг позволяет добиться как высокой производительности, так и качества обработки при выполнении технологических операций.

Abstract. The article provides an overview of modern technologies used in the rods of self-propelled sprayers. The technology review is based on the example of AMAZONE's Pantera 7004. The principles of operation of barbell technologies are considered: Flex barbell folding systems, AutoLift automatic lifting systems, Distance Control plus height maintenance technologies, Contour Control horizontal alignment technologies and Swing Stop horizontal vibration compensation systems. The complex application of various technologies for holding rods with a large lengthening of the rods makes it possible to achieve both high productivity and processing quality during technological operations.

Ключевые слова: штанга, самоходный опрыскиватель, защита растений, система стабилизации, колебания штанг.

Keywords: rod, self-propelled sprayer, plant protection, stabilization system, rod vibrations.

Введение

Одним из направлений повышения эффективности сельскохозяйственного производства является развитое применение средств защиты растений [1, 2]. Эффективность применения таких средств напрямую зависит как от агротехнологии, так и техники, обеспечивающей их своевременное внесение. Наиболее широкое применение в сельском хозяйстве получили штанговые опрыскивате-

ли, выполнение в виде навесных, прицепных и самоходных устройств. Улучшение эксплуатационных качеств, и производительности таких средств напрямую связано с повышением рабочих скоростей движения, ширины захвата штанг, повышение объема емкостей и обеспечением высокой годовой загрузки [3, 4]. Исходя из вышеописанных критериев, наилучшие результаты демонстрируют самоходные опрыскиватели [5]. Однако для достижения высокой эффективности таких штанговых опрыскивателей необходимо учитывать вид культурного растения, колебания штанг, неровности на поле, зоны разворота и края поля, качество распыления и экономию рабочего технологического раствора [6]. Поэтому ключевым элементом самоходных опрыскивателей является штанга, изучение развития технологий которой является приоритетным.

Цель исследования: обоснование требований к штангам современных самоходных опрыскивателей.

Методика проведения исследования: обзор и исследование открытых литературных научных источников по цели исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

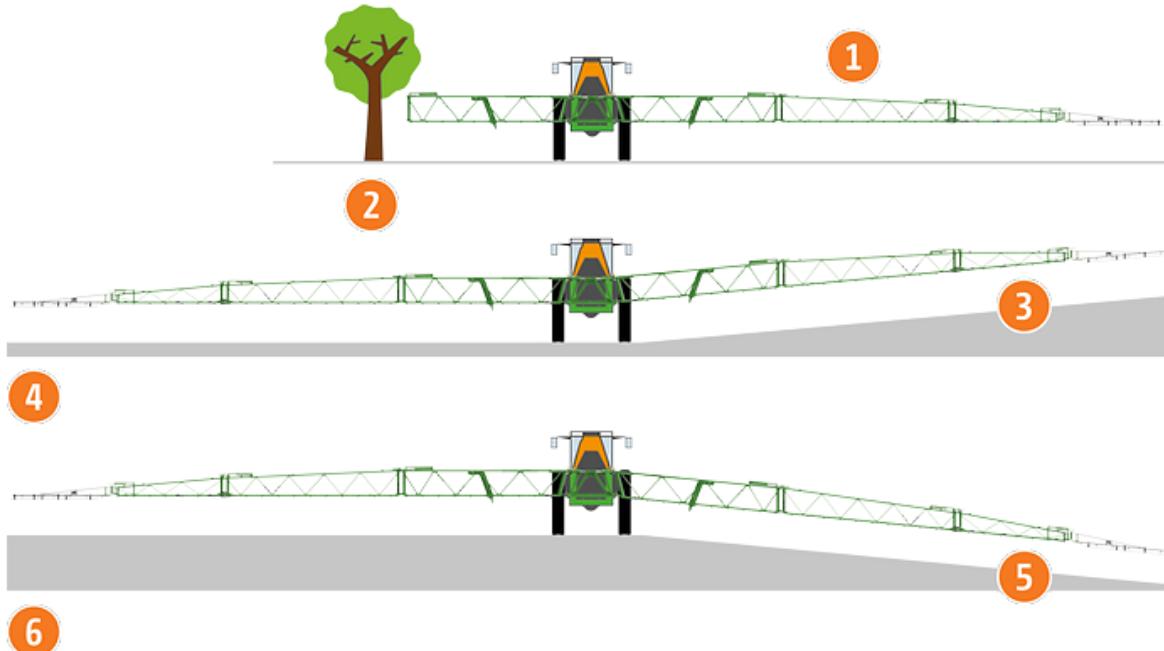
Рассмотрение технологий штанг современных самоходных опрыскивателей будем производить на примере Pantera 7004 компании «AMAZONE» (рис. 1).



Рисунок 1 – Самоходный штанговый опрыскиватель AMAZONE Pantera 7004

Обеспечение высокой производительности достигается применением штанг с шириной захвата от 21 до 42 метров, с сохранением высокой прочности и легкости. Наибольшей технологичностью у компании AMAZONE обладает разработанная штанга Super-L3, имеющая ширину захвата от 39 до 42 метров, сочетающая в себе использование таких технологий, как система активного ведения штанги ContourControl, гашения колебаний SwingStop и пофорсуночное включение AmaSwitch или AmaSelect с DUSpro.

Использование технологии Flexподразумевает наличие системы раскладывания и складывания для штанг Super-L3 (рис. 2). Технология позволяет также производить одностороннюю регулировку штанг по высоте и наклону. К тому же в сочетании с технологией ContourControl обеспечивается возможность как одностороннего, так и двухстороннего отклонения штанги вниз. А для прохождения разворотных участков все серийные самоходные опрыскиватели применяют технологию AutoLift, которая при отключении форсунок осуществляет подъем штанг на определенную высоту. После обратного включения форсунок для выполнения технологической операции, система автоматически возвращает штангам исходное рабочее положение.

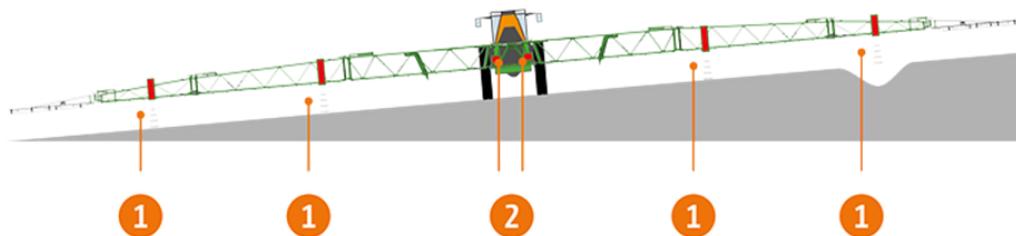


1, 2 – одностороннее складывание системы Flex 1; 3, 4 – отклонение вверх (через складывание Flex 2); 5, 6 – отклонение вниз (через складывание Flex 2 в комбинации с Contour Control)

Рисунок 2 – Система складывания Flex для штанг Super-L3

Опрыскиватель Pantera 7004 может осуществлять удержание штанги

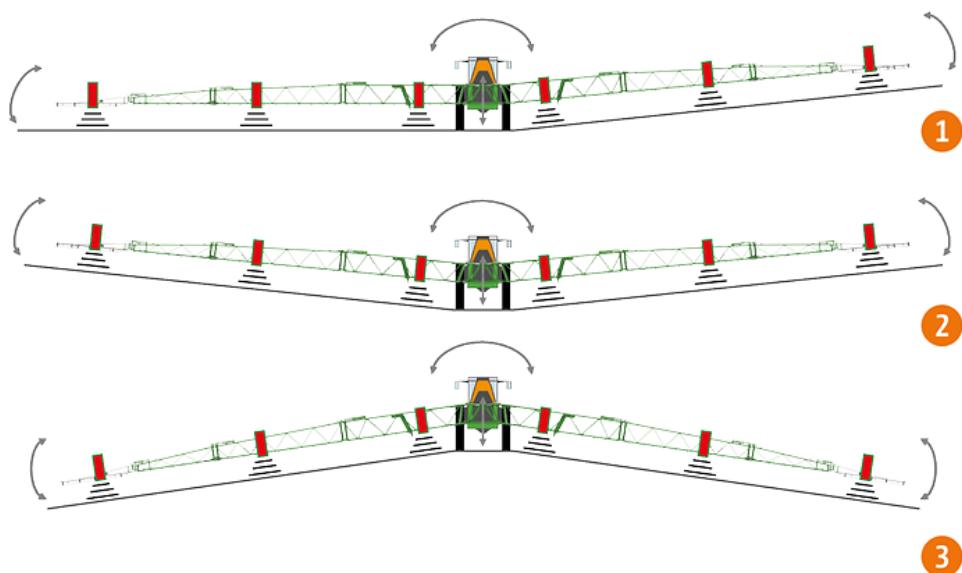
опрыскивателя на заданной высоте при помощи технологии Distance Controlplus, имеющей 4 датчика, расположенных на элементах конструкции штанг с обоих сторон на крыльях в центральной и крайней частях (рис. 3). Система включается параллельно, но во внимание всегда берется информация с того ультразвукового датчика, который ближе расположен к уровню поверхности под штангой.



1 – ультразвуковые датчики; 2 – угловые датчики

Рисунок 3 – Система Distance Controlplus с 4 датчиками

Наибольший интерес представляет технология AMAZONE Contour Control, позволяющая производить удержание отдельных крыльев штанги опрыскивателя на заданной величине от поверхности (рис. 4). Система совместима с Flex 2, что позволяет за счет установки 6 ультразвуковых датчиков обеспечить более точное позиционирование форсунок опрыскивателя над растением, тем самым добиваясь снижение сноса при ветровом воздействии не зависимо от неровностей на поле.



1 – одностороннее отклонение вверх справа; 2 – двустороннее отклонение вверх; 3 – двустороннее отклонение вниз

Рисунок 4 – Система Contour Control со складыванием Flex 2

В то же время при движении самоходного опрыскивателя Pantera 7004 возникают колебания, амплитуда колебаний которых на концах штанг может ухудшать качество распыления технологической жидкости. С вертикальными колебаниями активно борется Contour Control, а для борьбы с горизонтальными колебаниями (рис. 5) применяется система Swing Stop (рис. 6).

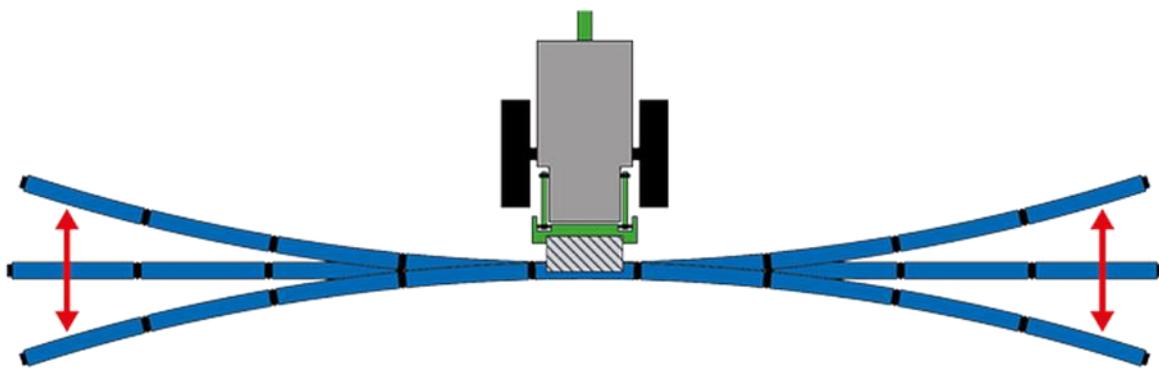
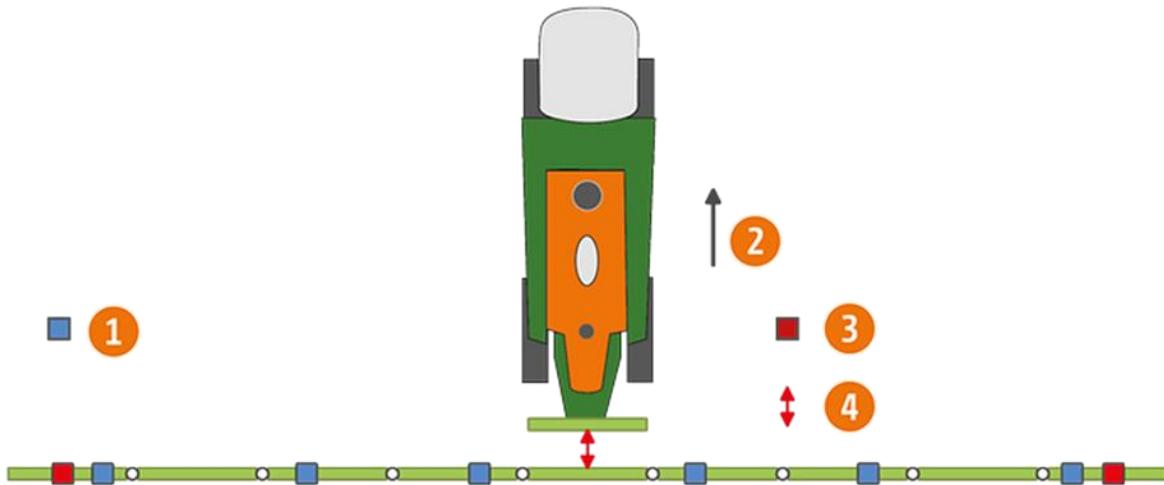


Рисунок 5 – Горизонтальные колебания штанг опрыскивателя



1 – 6 ультразвуковых датчиков для ContourControl; 2 – направление движения;
3 – 2 датчика ускорения для SwingStop; 4 – цилиндр SwingStop

Рисунок 6 – Система Swing Stop

В связи с маневрами на поле, наездами колес на неровности, замедлением и ускорением самоходного опрыскивателя штанги раскачиваются в продольном направлении. Компенсация возникновения таких колебаний производится путем работы двух гидроцилиндров подвески штанги в горизонтальном направлении.

Выводы

Штанга современного самоходного опрыскивателя обеспечивает автоматическое удержание определенной высоты над поверхностью, автоматическое поднятие штанг при прекращении подачи технологической жидкости через форсунки и быстрый процесс складывания и наклона штанг. Наличие нескольких ультразвуковых датчиков, позволяет бороться с колебаниями штанг в вертикальном направлении отдельно для каждого крыла даже при изменении фоновых неровностей под штангой на поле. А установка датчиков ускорения на концах штанги опрыскивателя также обеспечивает борьбу и с горизонтальными колебаниями, тем самым удерживая форсунки в заданном положении. Поэтому комплексное применение различных технологий удержания штанг при большом удлинении штанг (42 метра) позволяет добиться как высокой производительности, так и качества обработки при выполнении технологических операций.

Список литературы

1. Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Рusanов А.В., Прядкин В.И. Проблема воздействия на почву ходовых систем мобильных энергосредств и эффективные пути решения//Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. - М.: ВИМ, 2014. - С. 327-329.
2. Прядкин В.И. Мобильные средства химизации грузоподъемностью 1...2 т на шинах сверхнизкого давления / В.И. Прядкин ; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2017. – 183 с.
3. Прядкин, В. И. Энергосредство нового поколения / В. И. Прядкин // Техника в сельском хозяйстве. - 2012. - № 3. - С. 23-25.
4. Транспортно-технологические средства на шинах сверхнизкого давления / В. И. Прядкин, В. Я. Шапиро, З. А. Годжаев, С. В. Гончаренко. – Воронеж, 2019. – 492 с. – ISBN 978-5-7994-0897-8. – EDN HXLEOT.
5. Перспективные мобильные средства на шинах сверхнизкого давления для сельскохозяйственного производства / З. А. Годжаев, В. И. Прядкин, П. А. Колядин, А. В. Артемов // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 4. – С. 277-286. – DOI 10.17816/0321-4443-115016. – EDN EHPEDS.
6. Прядкин, В. И. Вибронагруженность штанг самоходного опрыскивателя на шинах сверхнизкого давления / В. И. Прядкин, П. А. Колядин // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 6. – С. 543-550. – DOI 10.17816/0321-4443-567796. – EDN RVHJWO.

References

1. Gojaev Z.A., Shevtsov V.G., Rusanov A.V., Pryadkin V.I. The problem of impact on the soil of running systems of mobile power facilities and effective solutions//Innovative development of the Russian agro-industrial complex based on intelligent machine technologies Collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference. Moscow: VIM, 2014. pp. 327-329.

2. Pryadkin V.I. Mobile chemical means with a lifting capacity of 1...2 tons on ultra-low pressure plates / V.I. Pryadkin; Ministry of Education and Sciences of the Russian Federation, VGLTU Federal State Budgetary Educational Institution. – Voronezh, 2017. – 183 p.
3. Pryadkin, V. I. New generation energy equipment / V. I. Pryadkin // Machinery in agriculture. - 2012. - No. 3. - pp. 23-25.
4. Transport and technological means on ultra-low pressure tires / V. I. Pryadkin, V. Ya. Shapiro, Z. A. Gojaev, S. V. Goncharenko. Voronezh, 2019. 492 p. ISBN 978-5-7994-0897-8. EDN HXLEOT.
5. Promising mobile means on ultra-low pressure tires for agricultural production / Z. A. Gojaev, V. I. Pryadkin, P. A. Kolyadin, A.V. Artemov // Tractors and agricultural machinery. – 2022. – Vol. 89, No. 4. – PP. 277-286. – DOI 10.17816/0321-4443-115016. – EDN EHPEDS.
6. Pryadkin, V. I. Vibration load of self-propelled sprayer rods on ultra-low pressure tires / V. I. Pryadkin, P. A. Kolyadin // Tractors and agricultural machinery. – 2023. – Vol. 90, No. 6. – pp. 543-550. – DOI 10.17816/0321-4443-567796. – EDN RVHJWO.

Научное издание

**АВТОМОБИЛЬНОЕ И ТРАКТОРНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ РОССИИ:
ПУТИ РАЗВИТИЯ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ**

Материалы Всероссийской научно-практической конференции

Воронеж, 13-14 ноября 2025 г.

Ответственный редактор В. И. Прядкин

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано к изданию 10.12.2025. Объем данных 30,9 Мб
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»
ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8