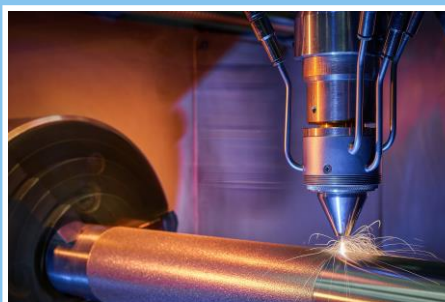
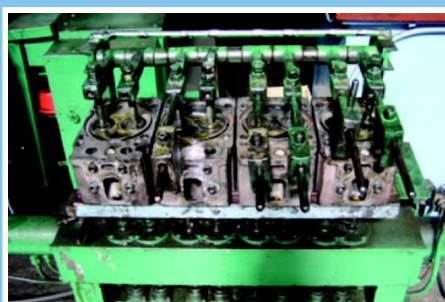


ВНТВ

Воронежский научно-технический вестник
1 (51) март 2025



Научно-технический
журнал [®]
Издается с 2012 года
Выходит четыре раза в год

Учредитель - федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Главный редактор:
Кадырметов А.М. д.т.н., доцент

Заместителя главного редактора:
Дорохин С.В. д.т.н., доцент

Отв. секретарь:
Попов Д.А. к.т.н., доцент

Редакция:
Смоленцев Е.В. д.т.н., профессор
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Козлов А.М. д.т.н., профессор
(г. Липецк, Российская Федерация)
Лебедев В.А. к.т.н., профессор
(г. Ростов-на-Дону, Российская
Федерация)
Кузовкин А.В. д.т.н., профессор
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Болдырев А.И. д.т.н. профессор
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Сухочев Г.А. д.т.н., профессор
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Кириллов О.Н. д.т.н., профессор
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Куц В.В. д.т.н., доцент
(г. Курск, Российская Федерация)
Терентьев А.В. д.т.н., доцент
(г. Санкт-Петербург, Российская
Федерация)
Клявин В.Э. д.т.н., доцент
(г. Липецк, Российская Федерация)
Рассоха В.И. д.т.н., доцент
(г. Оренбург, Российская Федерация)
Новиков И.А. д.т.н., доцент
(г. Белгород, Российская Федерация)
Евтюков С.С. д.т.н., доцент
(г. Санкт-Петербург, Российская
Федерация)
Агеев Е.В. д.т.н., профессор
(г. Курск, Российская Федерация)
Новиков А.Н. д.т.н., профессор
(г. Орел, Российская Федерация)
Шевцова А.Г. д.т.н., доцент.
(г. Белгород, Российская Федерация)
Никонов В.О. к.т.н., доцент
(г. Воронеж, Российская Федерация)
Лихачев Д.В. к.т.н., доцент
(г. Воронеж, Российская Федерация)

Адрес редакции:
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева,
8, корпус 4
E-mail: vestnikvglta@mail.ru
Телефон: (473) 253-73-11
Сайт: <http://vestnikvglta.ru/>

Зарегистрировано в Федеральной
службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор).
Свидетельство:
ЭЛ № ФС 77 - 66383 от 14.07.2016

© ФГБОУ ВО ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Мерчалов С. В., Мерчалов А. С., Прядкин В. И. Влияние близкорезонансного режима работы двухмассовой виброупрочняющей установки на фундамент её основания и удельные затраты мощности..... 3

Кадырметов А. М., Сухочев Г. А., Смольяникова Е. Г., Попов Д. А., Кашицин В. А., Мандрыкин И. А., Ивашинин А. Е. Оценка усилий термомеханической обработки роликовым инструментом газотермических покрытий на основе никеля..... 12

Суворов А. П., Кузовкин А. В., Бондарев А. А. Проектирование и использование криволинейных поверхностей и поверхностей в комбинированных электрод-инструментах..... 25

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Смоленцев В. П., Омигов Б. И., Сафонов С. В. Интегрированная система менеджмента качества наукоемких изделий..... 34

Колосова Ю. А., Левин Д. Ю., Болдырев А. А., Рябинина О. А. Влияние технологии лазерной печати в производстве сувенирной продукции на процесс разработки элементов фирменного стиля..... 40

Болдырев А. А., Григораш В. В., Болдырев А. И., Падурец А. А., Болдырева Д. В. Точность и качество накатываемых резьб головками с продольной подачей..... 46

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Гудков В. В., Сокол П. А. К вопросу о кинематическом рассогласовании в трансмиссии полноприводных автомобиле 55

Сытник Е. С. Инновационные подходы в деятельности автомобильных дилерских центров как фактор устойчивого развития транспортного сектора России и регионов..... 78

Денисов Г. А., Злобина Н. И., Разгоняева В. В., Стасюк В. В., Казачек М. Н., Венивитина С. С., Феофилова А. А. Совершенствование методики исследования наезда автомобиля на пешехода, вышедшего в произвольном направлении после проезда попутного препятствия (транспортного средства)..... 90

Зеликов В. А., Климова Г. Н., Денисов Г. А., Струков Ю. В., Внукова С. В., Стородубцева Т. Н., Черников Э. А. Исследование влияния утомления водителя на аварийность и рекомендации по снижению числа дорожно-транспортных происшествий..... 96

Феофилова А. А., Хуан Лэй, Зеликов В. А. Роль технологии связи интеллектуальных транспортных средств в повышении безопасности дорожного движения..... 104

Молев Ю. И., Черевастов М. Г., Лазаревич С. В., Ерофеева А. В. Аналитическое сравнение показателей управляемости автомобилей при выполнении манёвров «переставка» и «движение по усечённой траектории»..... 114



УДК 621.8

UDC 621.8

2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

ВЛИЯНИЕ БЛИЗКОРЕЗОНАНСНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ДВУХМАССОВОЙ ВИБРОУПРОЧНЯЮЩЕЙ УСТАНОВКИ НА ФУНДАМЕНТ ЕЁ ОСНОВАНИЯ И УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ МОЩНОСТИ

IN INFLUENCE OF THE NEAR-RESONANCE OPERATING MODE OF A TWO-MASS VIBRATION HARDENING UNIT ON THE FOUNDATION AND SPECIFIC POWER COSTS

✉¹ **Мерчалов Сергей Васильевич**,
к.т.н., доцент кафедры автомобилей и сервиса,
Воронежский государственный лесотехниче-
ский университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, e-mail: merchalov-60@mail.ru

✉¹ **Merchalov Sergey Vasilievich**,
candidate of technical sciences, associate professor of
the department of automobiles and service, Voronezh
state forestry university named after G.F. Morozov,
Voronezh, e-mail: merchalov-60@mail.ru

Мерчалов Александр Сергеевич,
к.т.н., инженер, АО «Созвездие», г. Воронеж.

Merchalov Alexander Sergeevich,
candidate of technical sciences, engineer, JSC
“Sozvezdie”, Voronezh.

Прядкин Владимир Ильич,
д.т.н., профессор кафедры автомобилей и сер-
виса, Воронежский государственный лесотех-
нический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж.

Pryadkin Vladimir Ilyich,
doctor of technical sciences, professor, depart-
ment of automobiles and service, Voronezh state
forestry university named after G.F. Morozov,
Voronezh.

Аннотация. В машиностроение производят крупногабаритные детали методом литья из углеродистых сталей, чугунов с наличием внутренних полостей, имеющие невысокий запас прочности без применения способов упрочнения. Например, такими деталями являются корпуса турбонасосов, редукторов, а также турбины. В самолетостроение используют крупногабаритные детали сложной пространственной формы, такие как, панели крыла, фюзеляжа, отсек шасси, работающие в условиях знакопеременных динамических нагрузок при ограничении массы и запаса прочности. Применять современные методы упрочнения таких деталей не всегда возможно из-за наличия полостей и сложности их пространственной формы поверхности. Такую проблему решают методом виброударного упрочнения (ВУ). Недостаток (ВУ) - это большие объемы инструментальной среды и

Annotation. In mechanical engineering, large-sized parts are produced by casting from carbon steels, cast irons with internal cavities, having a low safety margin without the use of strengthening methods. For example, such parts are turbopump housings, gearboxes, and turbines. In aircraft construction, large-sized parts of complex spatial shape are used, such as wing panels, fuselage, chassis compartment, operating under alternating dynamic loads with limited mass and safety margin. It is not always possible to apply modern methods of strengthening such parts due to the presence of cavities and the complexity of their spatial surface shape. This problem is solved by the vibration impact hardening (VI) method. The disadvantage of (VI) is large volumes of the tool environment and high energy costs. Modern (VI) operate in a superresonant mode with rigid fastening of parts and have one dynamic system. The article presents the results of studies of a two-mass

высокие энергозатраты. Современные (ВУ) работают в зарезонансном режиме с жестким креплением деталей и имеют одну динамическую систему. В статье представлены результаты исследований двухмассовой динамической системы виброупрочняющей установки, в которой заложены преимущества близкорезонансных и зарезонансных режимов, которые уменьшают недостатки современных (ВУ). Первую массу составляет деталь с упругими элементами, которая работает в среде интенсивных колебаний в близко резонансном режиме. Вторую массу представляет инструментальная среда с контейнером, которая работает в зарезонансном режиме. Различные режимы работы станка создаются за счет изменения давления воздуха в пневматических резинокордных камерах (ПРК), а также за счет их поджатия. Такая компоновка опытного образца виброупрочняющей установки при испытаниях показала уменьшение затрат мощности на единицу амплитуды колебаний на 35-40 % при работе в режиме, близком к резонансу по сравнению с до- и зарезонансными областями режимов. Амплитуда колебаний фундамента изменялась незначительно.

Ключевые слова: ВИБРОУПРОЧНЯЮЩИЙ СТАНОК, ДВУХМАССОВАЯ СИСТЕМА, БЛИЗКО РЕЗОНАНСНЫЕ РЕЖИМЫ, АМПЛИТУДА КОЛЕБАНИЙ, ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ РЕЗИНОКОРДНЫЕ КАМЕРЫ (ПРК), ЗАТРАТЫ МОЩНОСТИ.

dynamic system of a vibration-hardening unit, which incorporates the advantages of near-resonance and super-resonance modes, which reduce the disadvantages of modern (VU). The first mass is a part with elastic elements, which operates in an environment of intense vibrations in a near-resonance mode. The second mass is a tool environment with a container, which operates in a super-resonance mode. Various operating modes of the machine are created by changing the air pressure in the pneumatic rubber-cord chambers (PRC), as well as by compressing them. Such a layout of the experimental model of the vibration-hardening unit during tests showed a decrease in power consumption per unit of vibration amplitude by 35-40% when operating in a mode close to resonance compared to the pre- and super-resonance regions of the modes. The amplitude of base vibrations changed insignificantly.

Keywords: VIBRATION HARDENING MACHINE, TWO-MASS SYSTEM, NEAR-RESONANCE MODES, OSCILLATION AMPLITUDE, PNEUMATIC RUBBER-CORD CHAMBERS (PRC), POWER COSTS.

¹ Автор для ведения переписки

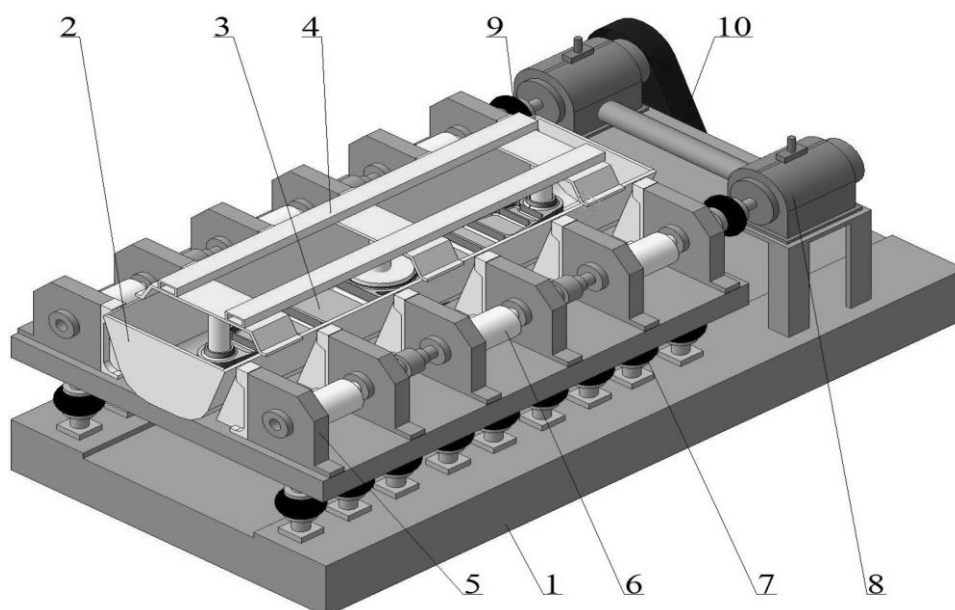
1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Современное машиностроение производит крупногабаритные детали способом литья из углеродистых сталей, чугунов с наличием внутренних полостей, имеющие невысокий запас прочности без применения методов упрочнения. Например, такими деталями являются корпуса турбонасосов, редукторов, а также турбины. В самолетостроении используют крупногабаритные изделия сложной пространственной формы такие как панели крыла, фюзеляжа, отсеки шасси, работающие в условиях знакопеременных динамических нагрузок при ограничении массы и запаса прочности. Повышать сопротивление усталости таких деталей пытаются еще на стадии проектирования, используя конструкторские методы. На стадии производства уже окончательно применяют упрочняющие методы термического, криогенного, химико-термического и физико-химического воздействий на поверхность деталей [1, 2]. Достоинством таких технологий являются высокие технологические возможности. К недостатку можно отнести то, что их трудно применять к поверхностям сложной пространственной формы.

Такую проблему лучше решать методом виброударного упрочнения (ВУ), который позволяет обрабатывать как внешние, так и внутренние поверхности деталей сложной формы. Применение виброударного упрочнения приводит к равномерному снижению высотных параметров шероховатости за счет рабочей инструментальной среды в виде металлических шариков, формированию в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений, образованию наклепа, созданию мелкодисперсной структуры [3]. Существенный недостаток (ВУ) – это большие объемы инструментальной среды. В зависимости от размеров крупногабаритных деталей требуется от нескольких сотен до нескольких тонн стальных шариков. Для вибрирования такой массы нужны двигатели высокой мощности, что делает процесс энергоемким и затратным. При работе оборудования возникают высокие вибровоздействия на фундамент цехового помещения, что может снижать его несущую способность и не обеспечивает экологическую опасность. Разрабатываются новые инновационные методы (ВУ). Авторы [4] предлагают локальный метод с использованием шарико-стержневого упрочнителя для обработки зон концентраторов напряжений крупногабаритных мало жестких изделий и сложной конфигурации. Модернизация методов (ВУ) направлена как для конкретных изделий [5-8], так и материалов изделий [1, 2, 9].

Из видов виброударного упрочнения в основном применяется виброупрочнение деталей «в навал» и с жестким креплением. Для деталей небольших размеров и больших партий применяется упрочнение «в навал», при этом рабочая среда и детали, которые никак не закреплены, свободно перемещаются в контейнере вибрационного станка относительно друг друга. Для повышения усталостной прочности крупногабаритных деталей используют виброударное упрочнение с жестким креплением.

Наиболее часто применяются резонансные режимы работы оборудования с одномассовой компоновкой и с инерционным приводом при мягкой виброизоляции. Преимущества таких конструкций состоят в передаче на фундамент и опоры сравнительно небольших динамических нагрузок и достаточно высокой стабильности [5]. Очевидный недостаток одномассовых машин – низкий коэффициент усиления вынуждающей силы. Такое оборудование требует для процесса достаточно большую массу металлических шариков к массе детали в соотношении 1:15. По такому принципу работает виброупрочняющий станок ВУД-2500, конструкция которого представлена на (рис. 1).



1 – основание; 2 – контейнер для металлических шариков; 3 – деталь для обработки; 4 – устройство для держания детали; 5 – опоры валов; 6 – вал дебалансный; 7 – амортизаторы пневматические; 8 – редуктор; 9 – муфта соединительная; 10 – привод

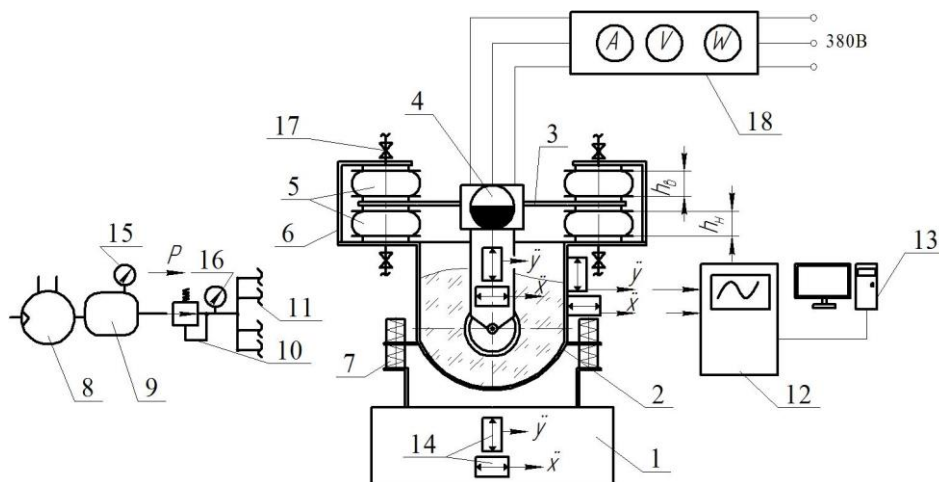
Рисунок 1 – Конструкция виброупрочняющего станка ВУД-2500

Известно, что главным преимуществом близкорезонансных режимов является меньшая энергоёмкость процесса при равных амплитудах колебаний, относительно зарезонансных. Большой минус таких режимов – значительные вибрационные нагрузки на основание с низкой устойчивостью режима колебаний [10, 11].

Предлагается новая двухмассовая динамическая система виброустановки, в которой заложены преимущества близко-резонансных и зарезонансных режимов. Планируется в близкорезонансном режиме обработать деталь с упругими элементами с оснасткой в среде интенсивных колебаний, при этом вибратор установлен на детали. Деталь жестко закреплена, что предоставляет первую массу. Известно, что резонансный режим характеризуется резким ростом амплитуды колебаний при той же частоте вынуждающей силы. Для нашей предлагаемой двухмассовой динамической системы это поможет уменьшить затраты энергии на единицу амплитуды колебаний и, в целом, на выбор мощности привода. Вторая масса состоит из контейнера с загруженной инструментальной средой. Она соединена с первой массой пневматическими резинокордными камерами (ПРК) и на нее воздействуют колебания с меньшей амплитудой. Режим работы второй массы реализуется за резонансным режиме. За счет такой схемы можно получить, на наш взгляд, уменьшение вибрационной нагрузки на фундамент.

2 Материалы и методы

Для доказательства работоспособности выдвинутых предположений была разработана двухмассовая система опытного виброупрочняющего устройства (рис. 2). Изготовленная экспериментальная установка представлена на (рис. 3). Согласно предположению, первая массовая система – это деталь с упругой подвеской 3 с резинокордными пневмоэлементами 5, действующими в противодавлении. Контейнер 2 с инструментальной средой и амортизаторами 7 образуют вторую массовую систему. Амплитуду колебаний системы задают изменением давления воздуха в пневматических резинокордных камерах (ПРК) 5 и их поджатием. С помощью мотор-вибратора 4 модели ЭВ-320-4 с частотой вращения 1500 мин^{-1} передаются вибрации на деталь.



- 1 – основание; 2 – контейнер; 3 – устройство для держания детали и деталь; 4 – вибратор; 5 – пневматические резинокордные камеры; 6 – приспособления для регулировки поджатия элементов; 7 – амортизаторы; 8 – компрессор; 9 – ресивер; 10 – датчик давления; 11 – резиновые шланги для подача воздуха; 12 – прибор ВИ-6-5М12; 13 – ПК переносной; 14 – датчики для замера виброускорений; 15, 16 – манометр для контроля давления воздуха; 17 – клапан для подачи и удаления воздуха; 18 – комплект К50 для замера энергозатрат

Рисунок 2 – Предлагаемая технологическая система двухмассового опытного виброупрочняющего устройства



Рисунок 3 – Экспериментальный образец виброупрочняющего устройства с двухмассовой системой

Величины амплитуд вибрации системы фиксировали с помощью прибора ВИ-6-5М12, который работал с датчиками виброускорения 14. Датчики крепились на детали, контейнере, основании по координатам X и Y (рис. 2). Персональный компьютер 13 соединялся с измерительным комплексом ВИ-6-5М12 через контроллер (рис. 4.). Для измерения амплитуды перемещения применяли осциллограф К12-20. Мощность мотор-вибратора замеряли измерительным комплектом К50.

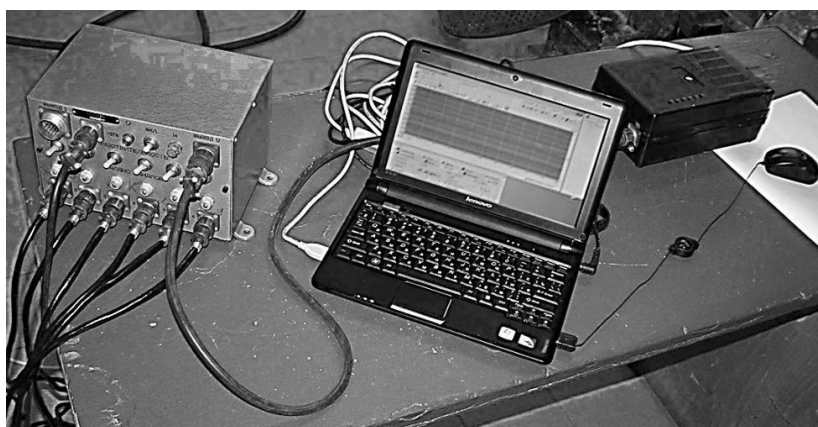


Рисунок 4 – Комплекс ВИ-6М для замера амплитудно-частотных характеристик экспериментальной установки

Для изменения амплитуды колебаний подвижной системы использовали изменения давления от 0,05 до 0,4 МПа на двух уровнях поджатия ПРК 5. Поджимали как верхнюю, так и нижнюю камеру (рис. 2). Первый уровень соответствовал значениям $h_6 = 95$ мм и $h_n = 85$ мм; второй уровень – $h_6 = 78$ мм и $h_n = 67$ мм. Первая масса системы – деталь с вибратором m_1 имеет массу 15,25 кг. Вторая масса системы – контейнер с шариками m_2 имеет массу 54,3 кг. Масса металлических шариков m_0 – 30 кг. Шарика выполнены из материала ШХ15 с диаметром 4 мм.

3 Результаты исследований

В статье представлены результаты исследования виброупрочняющего устройства с двухмассовой системой в близкорезонансном режиме по воздействию на основание, контейнер и энергетические затраты. Зависимости представлены на (рис. 5-7). Графические зависимости имеют максимумы в области резонанса (рис. 5, 6).

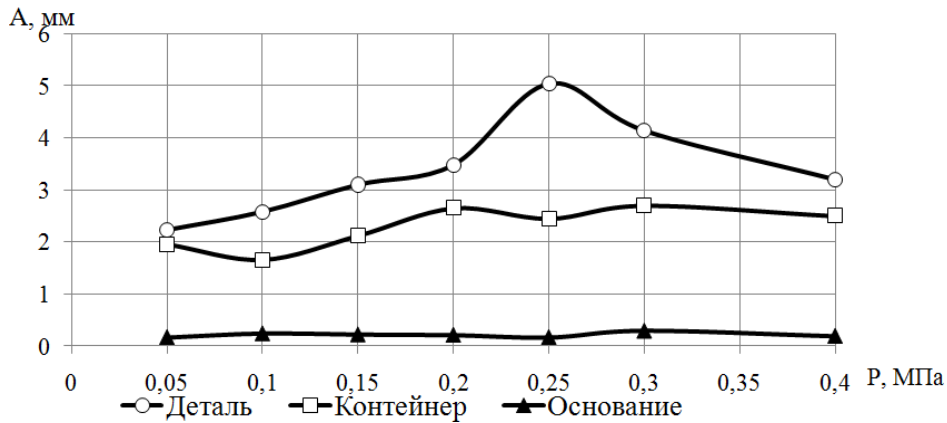


Рисунок 5 – Зависимость амплитуды перемещения A детали, контейнера, основания от давления P при поджатии ПРК $h_b = 95$ мм, $h_n = 85$ мм.

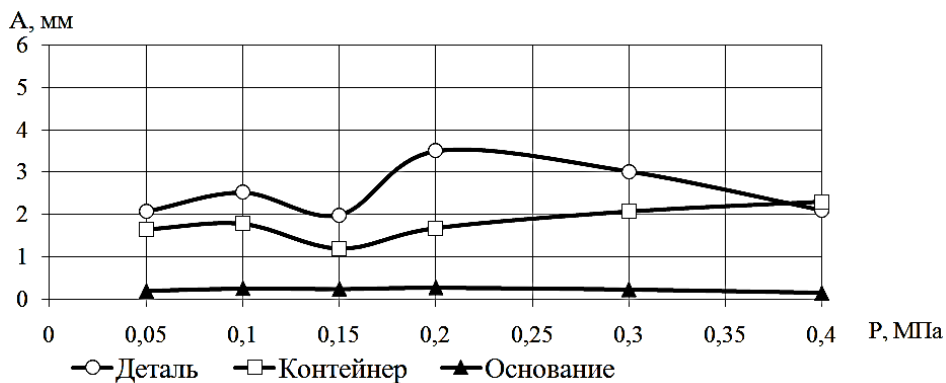


Рисунок 6 – Зависимость амплитуды перемещения A детали, контейнера, основания от давления P при поджатии ПРК $h_b = 78$ мм и $h_n = 67$ мм

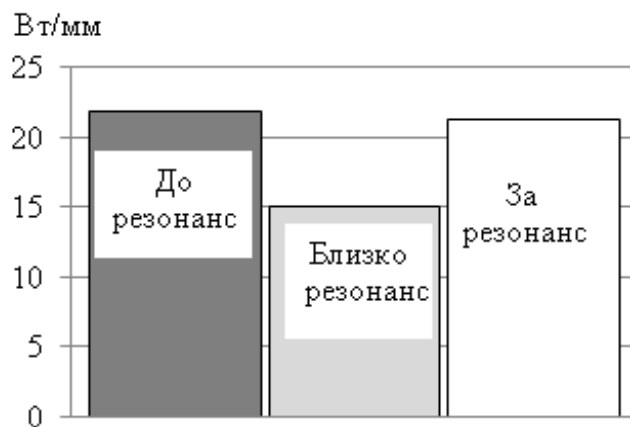


Рисунок 7 – Затраты удельной мощности на единицу амплитуды при различных режимах установки

4 Обсуждение и заключение

Можно заметить, что наступление резонансного режима предлагаемой системы зависит от степени поджатия пневмоупругих элементов и давления. Увеличение степени поджатия пневмоупругих элементов (рис. 6) создает резонансный режим уже при давлении 0,2 МПа при поджатии ПРК $h_6 = 78$ мм и $h_n = 67$ мм по сравнению 0,25 МПа при поджатии ПРК $h_6 = 95$ мм, $h_n = 85$ мм на графике (рис. 5). Это можно объяснить тем, что при увеличении степени поджатия пневмоупругих элементов система становится жестче и переходит как бы из двухмассовой в одномассовую. При этом будут теряться ее преимущества. Такая предложенная двухмассовая система виброупрочняющего станка, работающая в близко-резонансном режиме, как видно из графических зависимостей, может регулировать амплитуду колебаний детали от 5 мм при давлении 0,25 МПа до 3,5 мм при давлении 0,2 МПа за счет степени поджатия ПРК и давления воздуха в них. Это позволит обрабатывать детали с различными свойствами материалов при помощи определенного режима работы устройства и расширить их ассортимент.

Работа установки в близко резонансном режиме, согласно (рис.7) показывает, что удельная мощность, затрачиваемая на единицу амплитуды колебаний, на 35-40 % меньше, чем в до- и зарезонансной области. Эти данные подтвердили ранее выдвинутые предположения о том, что близко-резонансный режим имеет более высокие значения амплитуды колебаний при меньших затратах мощности для ведения такого режима, амплитуда колебаний фундамента из-за воздействия основания изменяется незначительно.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. В предлагаемой двухмассовой динамической системе виброупрочняющей установки заложены преимущества близко-резонансных и зарезонансных режимов.

2. В близкорезонансном режиме работает только деталь с упругими элементами с оснасткой в среде интенсивных колебаний. Вторая масса состоит из контейнера с загруженной инструментальной средой. Она соединена с первой массой пневматическими резинокордными камерами (ПРК) и на нее воздействуют колебания с меньшей амплитудой.

3. Предложенная двухмассовая система виброупрочняющего станка может регулировать амплитуду колебаний детали от 5 мм при давлении 0,25 МПа до 3,5 мм при давлении 0,2 МПа за счет степени поджатия ПРК и давления воздуха в них. Это позволит обрабатывать детали с различными свойствами материалов при помощи определенного режима работы устройства и расширить их ассортимент. Амплитуда колебаний фундамента из-за воздействия основания изменяется незначительно.

4. Работа установки в близкорезонансном режиме показывает, что удельная мощность, затрачиваемая на единицу амплитуды колебаний на 35-40 % меньше, чем в до- и зарезонансной области.

5. Результаты исследований могут быть использованы для технологий виброударного упрочнения в машиностроении и для модернизации сопутствующего оборудования.

Список литературы

1 Чудина, О.В. Повышение эффективности поверхностного упрочнения конструкционных сталей закалкой ТВЧ и ультразвуковой обработкой / О.В.Чудина, Д.С. Симонов, Т.С. Симонова, А.Н. Литовченко // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2023. – Т. 19. № 9 (225). – С. 427-431.

2 Чудина, О.В. Химико-термическая обработка деталей, полученных селективным лазерным плавлением / О.В. Чудина, В.А. Зорин, А.А. Брежнев, П. Брингулис, Д.С. Симонов // Сварочное производство. – 2022. – № 5. – С. 35-40.

3 Крупский, Р. Ф. Удаление следов контактно осаждённого железа с поверхности заготовок из титановых сплавов при вибрационной ударной обработке / Р. Ф. Крупский, В. В. Алтухова // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: Сборник научных статей по итогам восьмой международной научной конференции, Казань, 30 сентября 2019 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2019. – С. 12-15. – EDN ZKBVZJ.3. – DOI 10.15593/perm.mech/2020.2.10. – EDN BQZNET.N WZIHIM.

4 Тамаркин, М.А. Разработка методики проектирования технологического процесса обработки шарико-стержневым упрочнителем с учетом формирования сжимающих остаточных напряжений / М.А. Тамаркин, Э. Э.Тищенко, С. А. Новокрещенов, С. А. Морозов // Вестник Донского государственного технического университета. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 143-149. – DOI 10.23947/1992-5980-2020-20-2-143-149. – EDN WIVYLO.

5 Радченко, В. П. Метод реконструкции остаточных напряжений и пластических деформаций в тонкостенных трубопроводах в состоянии поставки и после двухстороннего виброударного поверхностного упрочнения дробью / В. П. Радченко, В. Ф. Павлов, Т. И. Бербасова, М. Н. Саушкин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2020. – № 2. – С. 123-13

6 Лебедев, В. А. Технологические особенности упрочнения коленчатых валов виброударным методом / В. А. Лебедев, Ф. А. Пастухов, М. М. Чаава, Г. В. Серга // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 390-396. – DOI 10.23947/2687-1653-2020-20-4-390-39.

7 Нефедов, А. С. Применение виброударной обработки при восстановлении высоконагруженных пружин сжатия / А. С. Нефедов // Актуальные проблемы инженерных наук : Материалы VII-й (64) ежегодной научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука-региону», Ставрополь, 03–29 апреля 2019 года. – Ставрополь: Издательский дом "Тэсэра", 2019. – С. 269-271. – EDN JNQQTХ.

8 Сухочев, Г. А., Грымзин А. Ю., Подгорнов С. Н. Применение комбинированной обработки для увеличения показателей качества лопаточных деталей / Г. А. Сухочев, А. Ю. Грымзин, С. Н. Подгорнов // Научная опора Воронежской области : Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. – С. 167-170. – EDN RRQINV.

9 Прокопец, Г. А. Особенности подхода к назначению параметров виброударной обработки инструментальных сталей на примере стали марки У12 / Г. А. Прокопец, А. С. Кочетова, А. В. Папко, А. В. Мураев // Фундаментальные основы физики, химии и механики наукоёмких технологических систем формообразования и сборки изделий : Сборник трудов научного симпозиума технологов-машиностроителей, Ростов-на-Дону, 22–26 сентября 2021 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. – С. 58-61. – EDN EZAACP.

10 Елисеев, В.А. Особенности упругих взаимодействий элементов вибрационных технологических машин с учетом неударяющих связей: расчетные схемы, математические модели, приложения / В.А. Елисеев, А.С. Миронов //Современные проблемы теории машин.–2024.– №17.– С.74-79.

11 Семенченко, И.Ю. Выведение поправочного коэффициента для расчета установившейся шероховатости при вибрационной упрочняющей обработке с высокими амплитудами/ И.Ю. Семенченко, В.Б. Васильев, А.А. Мордовцев //Упрочняющие технологии и покрытия. .– 2020.– №4. – С.168-171.

References

1 Chudina, O.V. Improving the efficiency of surface hardening of structural steels by high-frequency current quenching and ultrasonic treatment / O.V. Chudina, D.S. Simonov, T.S. Simonova, A.N. Litovchenko // Hardening technologies and coatings. - 2023. - Vol. 19. No. 9 (225). - P. 427-431.

2 Chudina, O.V. Chemical-thermal treatment of parts obtained by selective laser melting / O.V. Chudina, V.A. Zorin, A.A. Brezhnev, P. Bringulis, D.S. Simonov // Welding production. -2022. - No. 5. - P. 35-40.

3 Krupskiy, R. F. Removal of traces of contact deposited iron from the surface of titanium alloy workpieces during vibration impact treatment / R. F. Krupskiy, V. V. Altukhova // Advanced innovative developments. Prospects and experience of use, problems of implementation in production: Collection of scientific articles following the results of the eighth international scientific conference, Kazan, September 30, 2019. - Kazan: Limited Liability Company "CONVERT", 2019. - P. 12-15. - EDN ZKBVZJ.3. - DOI 10.15593/perm.mech/2020.2.10. - EDN BQZNET.N WZIHIM.

4 Tamarkin, M.A. Development of a methodology for designing a technological process for processing with a ball-and-rod hardener, taking into account the formation of compressive residual stresses / M.A. Tamarkin, E. E. Tishchenko, S. A. Novokreshchenov, S. A. Morozov // Bulletin of the Don State Technical University. - 2020. - Vol. 20, No. 2. - Pp. 143-149. - DOI 10.23947/1992-5980-2020-20-2-143-149. - EDN WIVYLO.

5 Radchenko, V. P. Method for reconstructing residual stresses and plastic deformations in thin-walled pipelines in the as-delivered condition and after two-sided vibro-impact surface shot hardening / V. P. Radchenko, V. F. Pavlov, T. I. Berbasova, M. N. Saushkin // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanics. – 2020. – No. 2. – P. 123-13

6 Lebedev, V. A. Technological features of hardening crankshafts by the vibration-impact method / V. A. Lebedev, F. A. Pastukhov, M. M. Chaava, G. V. Serga // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). – 2020. – Vol. 20, No. 4. – P. 390-396. – DOI 10.23947/2687-1653-2020-20-4-390-39.

7 Nefedov, A. S. Application of vibro-impact treatment in the restoration of highly loaded compression springs / A. S. Nefedov // Actual problems of engineering sciences: Proceedings of the VII (64) annual scientific and practical conference of teachers, students and young scientists of the North Caucasian Federal University "University Science for the Region", Stavropol, April 3-29, 2019. - Stavropol: Publishing house "Tesera", 2019. - P. 269-271. - EDN JNQQTIX.

8 Sukhochev, G. A., Grymzin A. Yu., Podgornov S. N. Application of combined processing to increase the quality indicators of blade parts / G. A. Sukhochev, A. Yu. Grymzin, S. N. Podgornov // Scientific support of the Voronezh region: Collection of works of the winners of the competition of scientific research works of students and graduate students of VSTU in priority areas of development of science and technology. - Voronezh: Voronezh State Technical University, 2021. - P. 167-170. - EDN RRQINV.

9 Prokopets, G. A. Features of the approach to assigning parameters for vibro-impact processing of tool steels using the example of steel grade U12 / G. A. Prokopets, A. S. Kochetova, A. V. Papko, A. V. Muraev // Fundamental foundations of physics, chemistry and mechanics of science-intensive technological systems for shaping and assembling products: Collection of papers of the scientific symposium of mechanical engineers, Rostov-on-Don, September 22–26, 2021. – Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2021. – P. 58–61. – EDN EZZAZP.

10 Eliseev, V. A. Features of elastic interactions of elements of vibration technological machines taking into account non-retaining connections: calculation schemes, mathematical models, applications / V. A. Eliseev, A. S. Mironov // Modern Problems of Machine Theory. - 2024. - No. 17. - P. 74-79.

11 Semenchenko, I. Yu. Derivation of a correction factor for calculating steady-state roughness during vibration hardening treatment with high amplitudes / I. Yu. Semenchenko, V. B. Vasiliev, A. A. Mordovtsev // Hardening technologies and coatings. . - 2020. - No. 4. - P. 168-171.

© Мерчалов С. В., Мерчалов А. С., Прядкин В. И., 2025

DOI: 10.34220/2311-8873-2025-12-24



УДК 621.793.74

UDC 621.793.74

2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

**ОЦЕНКА УСИЛИЙ
ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ РОЛИКОВЫМ
ИНСТРУМЕНТОМ
ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ**

**ASSESSMENT OF THERMOMECHANICAL
PROCESSING FORCES WITH ROLLER
TOOL OF GAS-THERMAL COATINGS
BASED ON NICKEL**

Кадырметов Анвар Минирович,
д.т.н., профессор кафедры машиностроительных технологий, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: kadyrmetov.a@mail.ru

Kadyrmetov Anvar Minirovich,
doctor of technical sciences, professor of the department of mechanical engineering technologies, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: kadyrmetov.a@mail.ru

Сухочев Геннадий Алексеевич,
д.т.н., профессор кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технического университет, г. Воронеж, e-mail: suhotchev@mail.ru

Sukhochev Gennady Alekseevich,
doctor of technical sciences, professor of the department of mechanical engineering technology, Voronezh state technical university, Voronezh, e-mail: suhotchev@mail.ru

Смоляникова Евгения Геннадьевна,
к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технического университет, г. Воронеж, e-mail: sm.evgeniya@gmail.com

Smolyannikova Evgeniya Gennadyevna,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of mechanical engineering technology, Voronezh state technical university, Voronezh, e-mail: sm.evgeniya@gmail.com

✉¹ **Попов Дмитрий Анатольевич,**
к.т.н., доцент кафедры машиностроительных технологий, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: qaz.7@mail.ru

✉¹ **Popov Dmitry Anatolyevich,**
candidate of technical sciences, associate professor of the department of mechanical engineering technologies, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: qaz.7@mail.ru

Кашицин Владимир Александрович,
аспирант кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технического университет, г. Воронеж, e-mail: bennygrade@yandex.ru

Kashicin Vladimir Alexandrovich,
postgraduate student, department of mechanical engineering technology, Voronezh state technical university, Voronezh, e-mail: bennygrade@yandex.ru

Мандрыкин Игорь Александрович,
аспирант, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Mandrykin Igor Alexandrovich,
postgraduate student, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Ивашинин Алексей Евгеньевич,
магистрант, Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г.Ф.
Морозова, г. Воронеж.

Ivashinin Aleksey Evgenievich,
master's student, Voronezh state forestry univer-
sity named after G.F. Morozov, Voronezh.

Аннотация. Рассмотрен эффективный способ термомеханического упрочнения газотермических покрытий на основе никеля в аспекте оценки усилий их обкатки роликовым инструментом. Усилие обкатки находится в зависимости от задаваемой величины пластической деформации покрытий, температуры покрытия в интервале значений 273 ... 1473 К, скорости деформации и геометрических параметров ролика и обрабатываемой цилиндрической поверхности покрытия.

Annotation. An effective method of thermomechanical hardening of nickel-based gas-thermal coatings is considered in the aspect of assessing the forces of their rolling with a roller tool. The rolling force depends on the specified value of plastic deformation of the coatings, the coating temperature in the range of 273...1473 K, the deformation rate and geometric parameters of the roller and the processed cylindrical surface of the coating.

Ключевые слова: ГАЗОТЕРМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ, ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, УСИЛИЕ ОБКАТКИ, УПРОЧНЕНИЕ.

Keywords: NICKEL-BASED THERMAL GAS COATINGS, THERMOMECHANICAL TREATMENT, RUN-IN FORCE, HARDENING.

¹ Автор для ведения переписки

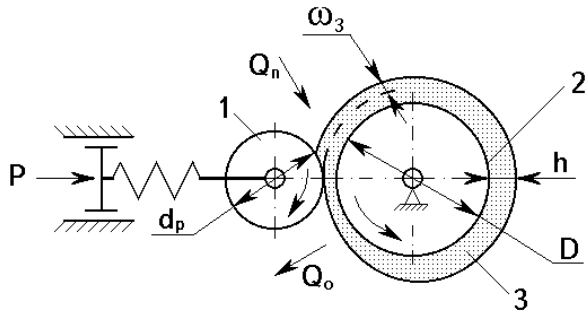
1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Широкое использование газотермических покрытий при изготовлении новых и восстановлении изношенных деталей машин сдерживается их недостатками. К их числу относятся наличие остаточных растягивающих напряжений в покрытиях, которые могут привести к растрескиванию и отслаиванию покрытий [1]. Кроме того, напыленные газотермические покрытия на деталях пар трения требуют операции шлифования, которая приводит к образованию микротрещин в покрытиях, снижает коэффициент использования материала покрытия, требует расходования дорогостоящего алмазного инструмента [2-4].

Одним из способов устранения этих недостатков является термомеханическое упрочнение (ТМУ) газотермических покрытий [5-7]. Этот способ позволяет снять остаточные растягивающие напряжения в покрытиях, упрочнить их и снизить припуск на шлифование.

Одной из основных технологических задач процесса ТМУ (рис. 1) является актуальная задача априорного определения усилия P воздействия инструмента (ролика, шарика) на обрабатываемую поверхность в зависимости от технологических параметров (температуры покрытия, скорости и величины пластической деформации покрытия, размерных параметров ролика и обрабатываемой поверхности), обеспечивающих заданные требования по качеству поверхности (по геометрическим, включая параметры шероховатости, и физико-механическим свойствам):

$$P = f(\omega_3, T, \varepsilon, D, d_p, h). \quad (1)$$



1 – ролик; 2 – деталь; 3 – покрытие; P – усилие обкатки; ω_3 – пластическая деформация покрытия; T – температура покрытия; ε – скорость деформации; d_p, D, h – диаметр ролика, образца и толщина покрытия соответственно; Q_n, Q_o – теплоподвод, теплоотвод

Рисунок 1 – Схема термомеханической обкатки покрытия

2 Материалы и методы

Поставленная задача решается построением математической модели системы обработки покрытия обкаткой роликовым инструментом в процессе плазменного напыления.

Одними из наиболее часто используемых износостойких материалов покрытий являются материалы на никелевой основе (ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4 и т.д.). Задача оценки усилия термомеханической обработки рассмотрена нами на примере цилиндрической детали с покрытием из этих материалов (рис. 1).

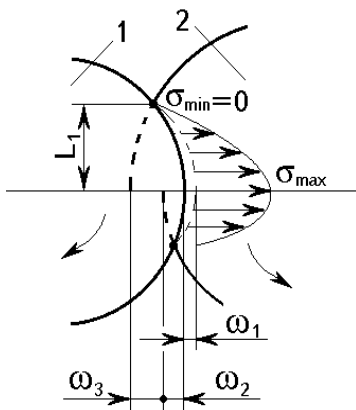
Усилие обкатки P как функции технологических параметров (1), с другой стороны, находится интегрированием произведений контактных напряжений $\sigma(s)$ по поверхности контакта S :

$$P = \iint_S \sigma(s) ds. \quad (2)$$

Задаваемым технологическим параметром для расчета силы прижима ролика к детали является максимальное значение напряжения σ_{max} в центре контакта ролика с поверхностью, (рис. 2). Оно определяет, во-первых, пластическую деформацию покрытия ω_3 , во-вторых, – упругие деформации ролика ω_1 и образца ω_2 в центре ролика с образцом, в-третьих, – распределение упругих деформаций по поверхности контакта; в-четвертых, – размеры и площадь поверхности контакта, в-пятых, – силу воздействия ролика P на обрабатываемую поверхность.

Для решения задачи принимались следующие допущения:

- истинные напряжения сжатия и растяжения покрытия равны друг другу;
- пластическая деформация имеет место только для покрытия (температура покрытия существенно выше температуры ролика и образца);
- ползучестью и сверхтекучестью материала покрытия пренебрегаем (считаем процесс локального воздействия ролика на образец кратковременным);
- пренебрегаем пористостью покрытия ($< 5\%$), считаем, что покрытие не имеет пустот и рыхлот, и является несжимаемым.



1 – ролик; 2 – образец; ω_1, ω_2 – упругая деформация ролика и образца соответственно; ω_3 – пластическая деформация покрытия

Рисунок 2 – Схема распределения напряжений в зоне контакта ролика с обрабатываемым цилиндрическим образцом

Определение силы прижима ролика к цилиндрической детали осуществляется в четыре этапа:

- 1) напряжения в центре контакта ролика с деталью;
- 2) размеров контактной зоны ролика с деталью;
- 3) деформаций ролика в контактной зоне;
- 4) силы прижима.

Оценка напряжения в зоне контакта ролика с деталью

На этом этапе в качестве исходной использовалась зависимость напряжения при деформации покрытия от факторов [8]:

$$\sigma = f(T, \bar{\varepsilon}, \dot{\varepsilon}, \bar{\varepsilon}(t), x), \quad (3)$$

где T – температура деформации; $\bar{\varepsilon}$ – степень деформации; $\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации, с^{-1} ; $\bar{\varepsilon}(t)$ – закон развития деформации во времени; x – физико-химические свойства металла (сплава).

Степень деформации $\bar{\varepsilon}$ является функцией деформации ε :

$$\bar{\varepsilon} = \int_{h_0}^h \frac{dh}{h} = \ln\left(\frac{h}{h_0}\right) = \ln(1 + \varepsilon), \quad (4)$$

где h_0 и h – высота деформируемого покрытия начальная и текущая соответственно;

$$\varepsilon = \frac{h-h_0}{h_0}. \quad (5)$$

Конкретный вид зависимости (3) с учетом (4) примем в виде, предложенным Ф.Ф. Витманом и В. А. Степановым [8]:

$$\lg(\sigma/\sigma_0) = n \cdot \lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0), \quad (6)$$

где $\sigma = f_1(T)$; $n = f_2(T)$; $\sigma_0, \dot{\varepsilon}_0$ – сопротивление деформации и скорость деформации в условиях обычных испытаний на прессе (обычно при скорости 10^{-4} с^{-1}).

Для хромоникелевых сплавов, идентичных по составу порошкам для плазменного напыления ПГСР-4, зависимости (6) представлены на рис. 3, 4 [8]. Предполагалось, что в интервале температур $T < 1123 \text{ К}$ для стали X20H80 наклоны графиков зависимостей $n = f(T, \varepsilon)$ будут одинаковыми (с равными $\partial n(T, \varepsilon)/\partial T$), что подтверждается для многих других железоникелевых сплавов (12X18H9, 12X18H9T, 02X17H12M2, 05X17H12M2 и др.) [8].

С учетом того, что для сплавов на никелевой основе в области температур рекристаллизации при гомологической температуре $\eta = T / T_{\text{плав}} = 0,5-0,6$ кривая зависимости $\lg(\sigma) = n \cdot \lg(\dot{\varepsilon})$ имеет сгиб, то график зависимости можно представить в виде двух графиков. Первый из них $n_1 = f_1(T, \varepsilon)$ при $\eta = 0,5-0,6$ переходит в график $n_2 = f_2(T, \varepsilon)$ [8]. Это приводит к тому, что зависимость (6) разделяется на две зависимости, пересекающиеся при определенной скорости деформации $\dot{\varepsilon}$:

$$\lg(\sigma/\sigma_0) = n_1 \cdot \lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0), \quad (7)$$

$$\lg(\sigma/\sigma_0) = n_2 \cdot \lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0), \quad (8)$$

или

$$\sigma = \sigma_0 \cdot (\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0)^{n_1}, \quad (9)$$

$$\sigma = \sigma_0 \cdot (\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0)^{n_2}. \quad (10)$$

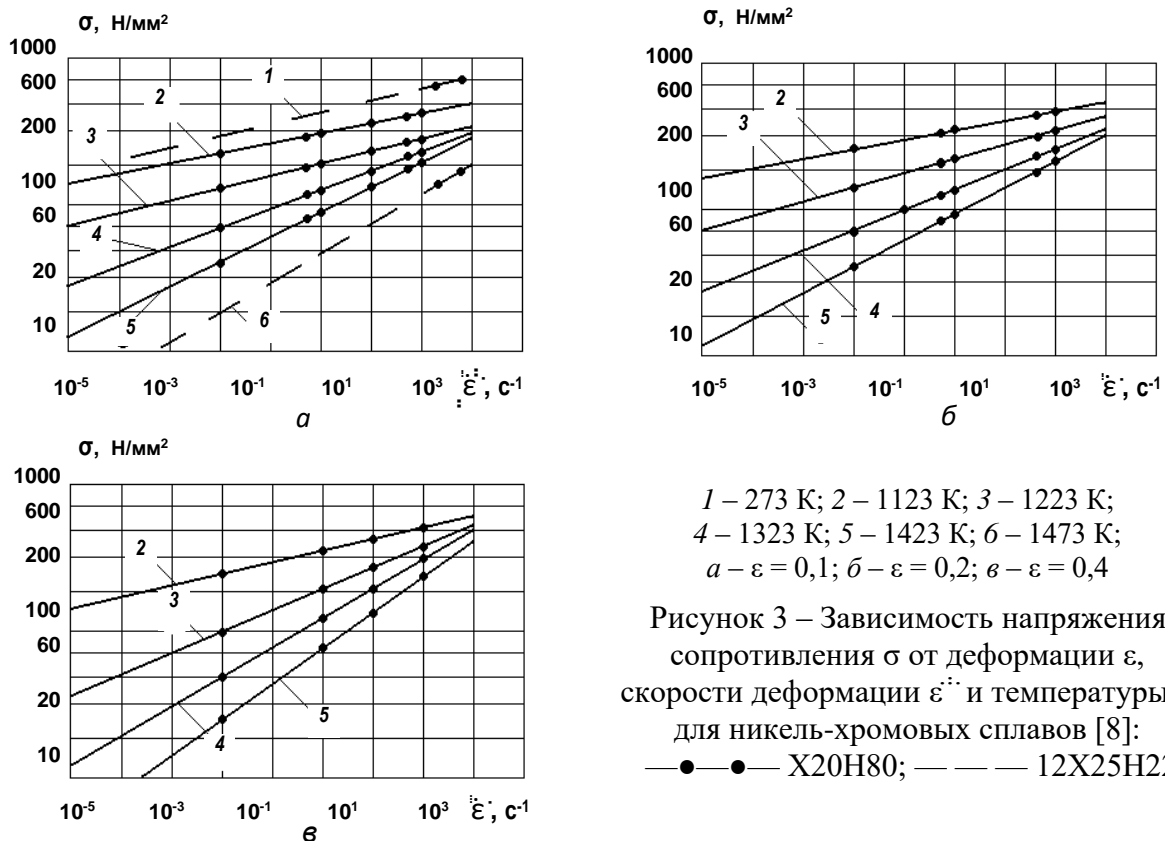
Обработка эмпирических данных, приведенных на рис. 4, по методу наименьших квадратов дает линейные аппроксимационные зависимости параметров n_1 и n_2 от значений деформации в диапазоне $\varepsilon = 0,1 \dots 0,4$ [9]:

$$n_1 = 4,3607 \cdot 10^{-5} \cdot T + 0,06643 \cdot \varepsilon + 9,562 \cdot 10^{-3}, \quad (11)$$

при температурах T в интервале 273 ... 1123 ;

$$n_2 = 4,6476 \cdot 10^{-4} \cdot T + 0,1975 \cdot \varepsilon - 0,494, \quad (12)$$

при температурах T в интервале 1123 ... 1473 К.



Рассчитанные по данным зависимостям значения n_1 и n_2 отличаются от данных на рис. 4, в основном, не более чем на 10 % за исключением области температур около 1123 К при $\varepsilon \approx 0,1$ и $\varepsilon \approx 0,4$, в которой отличие может достигать 25 %. Это дает возможность использовать зависимости (11) и (12) для оценочных расчетов технологических параметров термомеханической обработки цилиндрических поверхностей.

Для оценки сопротивления деформации σ_0 в статических условиях (установившегося процесса), соответствующих диаграммам с упрочнением ($d\sigma/d\varepsilon > 0$), применимы данные работы [10] для сплавов на никелевой основе ЭИ437Б, ЭИ827:

$$\sigma_0 = \sigma_T + E^* \cdot \varepsilon_{пл}, \quad (13)$$

для температур $\eta < 0,4$;

$$\sigma_0 = \sigma_T + B \cdot \varepsilon_{пл}^m, \quad (14)$$

для температур $\eta = 0,4 \dots 0,6$,

где σ_T – предел текучести; E^* – модуль упрочнения; B , m – коэффициенты упрочнения; $\varepsilon_{пл}$ – относительная пластическая деформация.

Для диаграмм без упрочнения ($d\sigma/d\varepsilon = 0$; $\eta > 0,6$):

$$\sigma_0 = \sigma_T. \quad (15)$$

Зависимости σ_T , E^* и коэффициента B от температуры T , полученные обработкой данных [8, 10], имеют вид (рис. 5):

$$E^* = \frac{(1025 - T)^{0,316}}{3,964}, \quad (16)$$

(погрешность менее 11 % для $T \in 290 \dots 1020$ К),

$$\sigma_T = 130 \cdot (1175 - T)^{0,25}, \quad (17)$$

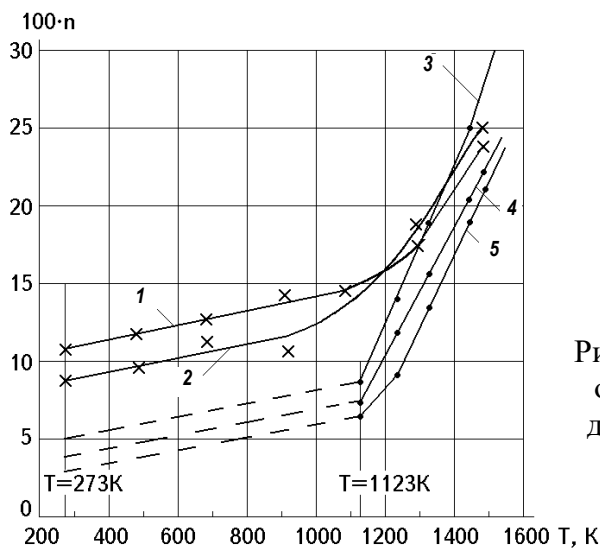
(погрешность менее 15 % для $\eta < 0,6$),

$$\sigma_T = 508008 \cdot \exp[-6,65544 \cdot 10^{-3} \cdot T], \quad (18)$$

(для $\eta > 0,6$; погрешность менее 8 %),

$$B = 4 - 0,002 \cdot T \quad (19)$$

(для $T \in 1045 \dots 1070$ К).



$\varepsilon = 0,1$ – кривые 1, 5; $\varepsilon = 0,2$ – кривая 4;
 $\varepsilon = 0,4$ – кривые 2, 3; — — — — предполагаемое
 изменение величины n для материала X20H80
 в интервале температур 273-1123 К по данным
 для материала аналога (стали 12Х25Н22) [8]

Рисунок 4 – Зависимость $n = \lg(\sigma/\sigma_0)/\lg(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0)$ от температуры T и величины относительной деформации ε для сталей X20H80 (кривые 3, 4 и 5) и 12Х25Н22 (кривые 1, 2)

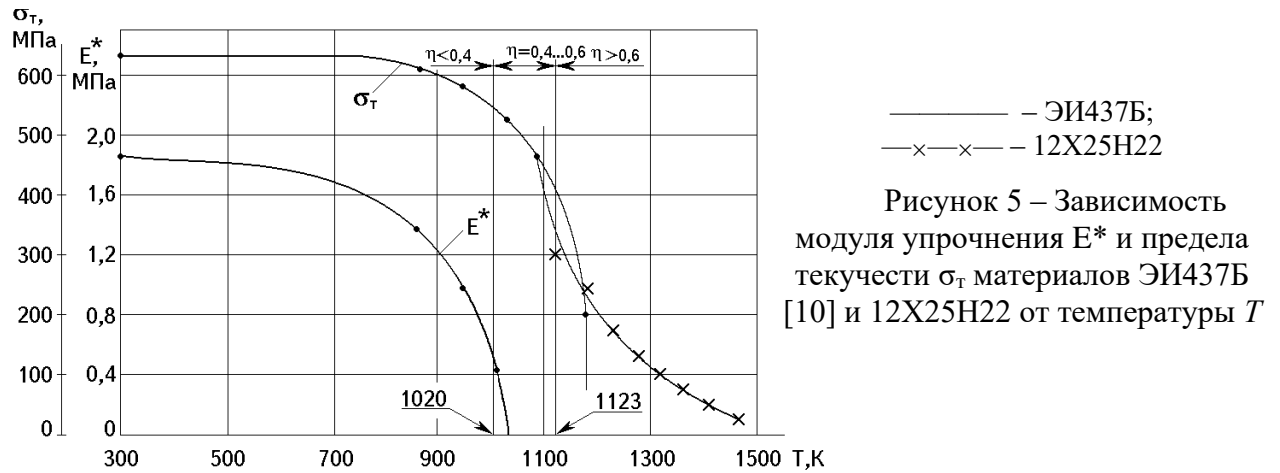


Рисунок 5 – Зависимость модуля упрочнения E^* и предела текучести σ_T материалов ЭИ437Б [10] и 12Х25Н22 от температуры T

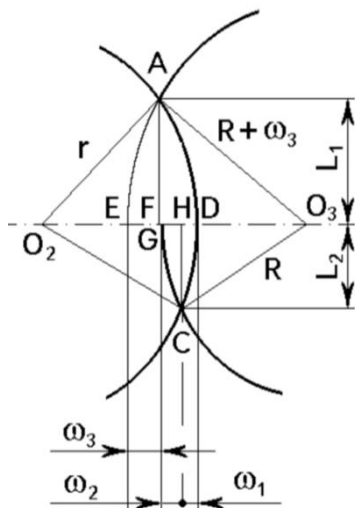
Таким образом, напряжение в центре контакта ролика с цилиндрической поверхностью можно оценить по формулам (9) и (10) с использованием входящих в них параметров по формулам (11) ... (19) с погрешностью мене 10 % за исключением области температур около 1123 К при $\epsilon \approx 0,1$ и $\epsilon \approx 0,4$, в которой погрешность может достигать 25 %.

Определение размеров контактной зоны ролика с деталью

Расчетная схема для определения протяженности контактных участков ролика с образцом L_1 и L_2 представлена на рис. 6. Из прямоугольных треугольников AO_2F и AO_3F следует, что длина отрезка L_1 равна соответственно:

$$L_1 = \sqrt{r^2 - (r - DF)^2}, \tag{20}$$

$$L_1 = \sqrt{(R + \omega_3)^2 - (R + \omega_3 - EF)^2}. \tag{21}$$



R, r – радиус образца и ролика соответственно; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – соответственно деформация ролика упругая, покрытия упругая и покрытия пластическая

Рисунок 6 – Схема расчета длины контакта цилиндрического образца с роликом

Приравнивая правые части после преобразований с учетом того, что произведения малых величин DF, EF и ω_3 являются малыми величинам более высокого порядка и ими можно пренебречь, длины отрезков определяются формулами:

$$L_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r}}}, \tag{22}$$

$$L_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (\omega_1 + \omega_2)}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r}}}. \tag{23}$$

Из рассмотрения прямоугольного треугольника O_2HC следует, что, с одной стороны, длина отрезка $O_2H = \sqrt{r^2 - L_2^2}$, а с другой стороны, $O_2H = r - \omega_1$. Тогда:

$$L_2 \approx \sqrt{2 \cdot r \cdot \omega_1}. \tag{24}$$

Значения упругих деформаций материалов ролика и покрытия могут быть определены из соотношений связи с модулями упругости:

$$\omega_1 = \frac{\sigma \cdot r}{E_p}, \quad (25)$$

$$\omega_2 = \frac{\sigma \cdot R}{E_{об}}, \quad (26)$$

где $E_p, E_{об}$ – модули упругости материалов ролика и покрытия соответственно.

Таким образом, размер контактной зоны ролика с цилиндрическим образцом может быть оценён по формулам (22) ... (24) при известных характеристиках материалов ролика и покрытия (модулях упругости) при условии, что твердость покрытия не уступает твердости материала образца.

Определение деформаций ролика в зоне контакта с образцов

Линия контакта ролика с образцом приближенно может быть представлена в виде прямых отрезков АН и НС (рис. 7). Деформация поверхности ролика в любой точке контакта равна разности между радиусом ролика r и расстоянием от центра ролика (точки O_2) до данной точки.

Деформация ролика в поверхностной точке В на линии НС определится как

$$\omega_1(\alpha_2) = r - O_2B. \quad (27)$$

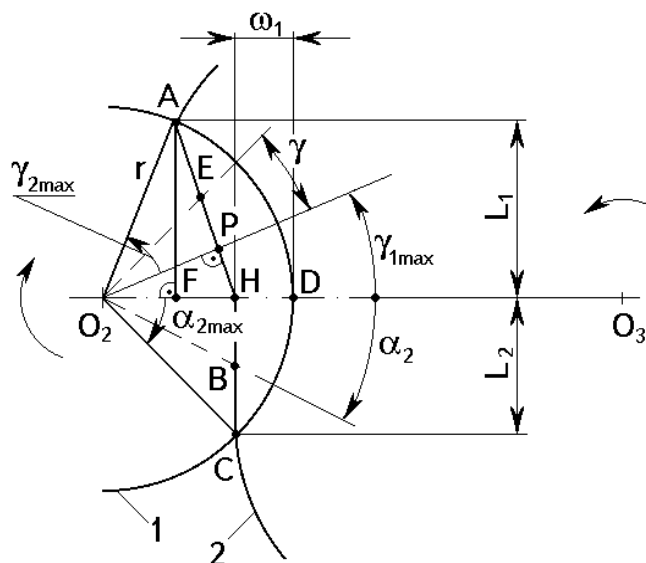
Из треугольников ΔO_2HB и ΔO_2HD следует соответственно

$$O_2B = \frac{r - HD}{\cos \alpha_2}, \quad HD = r - \sqrt{r^2 - L_2^2}. \quad (28)$$

$$\sin \alpha_{2max} = L_2/r. \quad (29)$$

Подставляя (28) в (27) в диапазоне угла $\alpha_2 \in [0 \dots \arcsin(L_2/r)]$ получим

$$\omega_1(\alpha_2) = r - \frac{\sqrt{r^2 - L_2^2}}{\cos \alpha_2}. \quad (30)$$



1 – ролик; 2 – образец; АНС – линия контакта; r – радиус ролика

Рисунок 7 – Схема линии контакта ролика с образцом при обкатке

Деформации поверхности контакта ролика на отрезке АН удобно рассмотреть в зависимости от угла γ , отсчитываемого от точки Р (точки пересечения отрезка АН с перпендикуляром к нему из центра ролика O_2). Аналогично формуле (29), полученной для отрезка НС, имеем для отрезка АН при $\gamma \in [-\gamma_{1\max}, \gamma_{2\max}]$:

$$\omega_1(\gamma) = r - \frac{\sqrt{r^2 - AP^2}}{\cos \gamma}. \quad (31)$$

Из треугольников ΔO_2AF и ΔAFH следует, что

$$AH = \sqrt{2r^2 - L_2^2 - 2\sqrt{(r^2 - L_2^2) \cdot (r^2 - L_1^2)}}, \quad (32)$$

$$PH = \frac{\sqrt{r^2 - L_2^2} - \sqrt{r^2 - L_1^2}}{\sqrt{2r^2 - L_2^2 - 2\sqrt{(r^2 - L_2^2) \cdot (r^2 - L_1^2)}}} - \sqrt{r^2 - L_2^2}. \quad (33)$$

Тогда

$$AP = AH - PH = \frac{r^2 - \sqrt{(r^2 - L_2^2) \cdot (r^2 - L_1^2)}}{\sqrt{2r^2 - L_2^2 - 2\sqrt{(r^2 - L_2^2) \cdot (r^2 - L_1^2)}}}. \quad (34)$$

Из треугольников ΔAFH и ΔO_2PH следует, что

$$\cos \gamma_{1\max} = \frac{L_1}{\sqrt{2r^2 - L_2^2 - 2\sqrt{(r^2 - L_2^2) \cdot (r^2 - L_1^2)}}}, \quad (35)$$

$$\sin \gamma_{2\max} = AP/r. \quad (36)$$

Таким образом, контактные деформации ролика определяются зависимостями (30) и (31) в соответствующих диапазонах углов (29), (35) и (36).

Определение силы прижима ролика к образцу

Интеграл (2) по линии контакта ролика с образцом АН + ВС может быть записан суммой:

$$P = B \int_{L(AH)}^- \sigma(l_1) dl_1 + B \int_{L(BC)}^- \sigma(l_2) dl_2, \quad (37)$$

где согласно рис. 7

$$l_1 = \operatorname{tg}(\gamma) \cdot \sqrt{r^2 - AP^2}, \quad (38)$$

$$l_2 = \operatorname{tg}(\alpha_2) \cdot \sqrt{r^2 - L_2^2}. \quad (39)$$

Тогда зависимость (37) примет вид

$$P = B \sqrt{r^2 - L_2^2} \int_0^{\alpha_{2\max}} \sigma(\alpha_2) \frac{d\alpha_2}{\cos^2(\alpha_2)} + B \sqrt{r^2 - AP^2} \int_{-\gamma_{1\max}}^{\gamma_{2\max}} \sigma(\gamma) \frac{d\gamma}{\cos^2(\gamma)}. \quad (40)$$

Считая деформации ролика при контакте с образцом упругими в соответствии с законом Гука, принимаем, что

$$\sigma(\gamma) = E_p \frac{\omega_1(\gamma)}{r}, \quad (41)$$

для контакта на длине АН,

$$\sigma(\alpha_2) = E_p \frac{\omega_1(\alpha_2)}{r}, \quad (42)$$

для контакта на длине НС, где E_p – модуль упругости материала ролика, $\omega_1(\gamma)$ и $\omega_1(\alpha_2)$ – деформации, рассчитываемые по формулам (30) и (31).

С учетом (29), (35) и (36) интегрирование составляющих в выражении (40) дает формулу для определения силы прижима ролика к образцу

$$P = B \sqrt{r^2 - L_2^2} \cdot E_p \left\{ \operatorname{tg} \alpha_{2max} - \frac{\sqrt{r^2 - L_2^2}}{2r} \cdot \left[\frac{\operatorname{tg} \alpha_{2max}}{\cos \alpha_{2max}} + \ln |X_{\alpha_2}| \right] \right\} + \\ + B \cdot E_p \sqrt{r^2 - AP^2} \left\{ (\operatorname{tg} \gamma_{1max} + \operatorname{tg} \gamma_{2max}) - \frac{\sqrt{r^2 - AP^2}}{2r} \left[\frac{\operatorname{tg} \gamma_{1max}}{\cos \gamma_{1max}} + \frac{\operatorname{tg} \gamma_{2max}}{\cos \gamma_{2max}} + \ln |X_{\gamma_1} \cdot X_{\gamma_2}| \right] \right\}, \quad (43)$$

где

$$X_{\alpha_2} = \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_{2max}}{2} + \frac{\pi}{4} \right); \quad X_{\gamma_1} = \operatorname{tg} \left(\frac{\gamma_{1max}}{2} + \frac{\pi}{4} \right); \quad X_{\gamma_2} = \operatorname{tg} \left(\frac{\gamma_{2max}}{2} + \frac{\pi}{4} \right). \quad (44)$$

Общая схема расчета силы прижима ролика к цилиндрическому образцу

Исходными данными для расчета являются температура обработки T , величина пластической деформации покрытия $\varepsilon_{пл}$, скорость деформации $\dot{\varepsilon}$, модули упругости ролика и образца E_p и $E_{об}$, радиусы ролика r и образца R . Последовательность расчета включает определение: предела текучести материала покрытия по формулам (17) и (18), параметров E^* и B по формулам (16) и (19); параметров n_1 и n_2 по формулам (11) и (12); сопротивлений деформации σ_0 по формулам (13)...(15); упругих деформаций ω_1 и ω_2 по формулам (25)...(26); длин отрезков контактной линии ролика с образцом L_1 , L_2 и отрезка AP (см. рис. 6, 7) по формулам (22), (23) и (34); силы прижима ролика к образцу по формулам (44), (43).

3 Результаты исследований

Результаты расчета приведены на рис. 8 и 9. Они показывают на незначительность влияния радиуса образца на силу прижима ролика к нему, с увеличением радиуса образца с 20 до 100 мм сила прижима увеличивается на 3 %.

Погонная сила обкатки существенно зависит от радиуса ролика. Увеличение радиуса ролика с 5 мм до 20 мм приводит к увеличению погонной силы с 150-330 Н/мм до 330-800

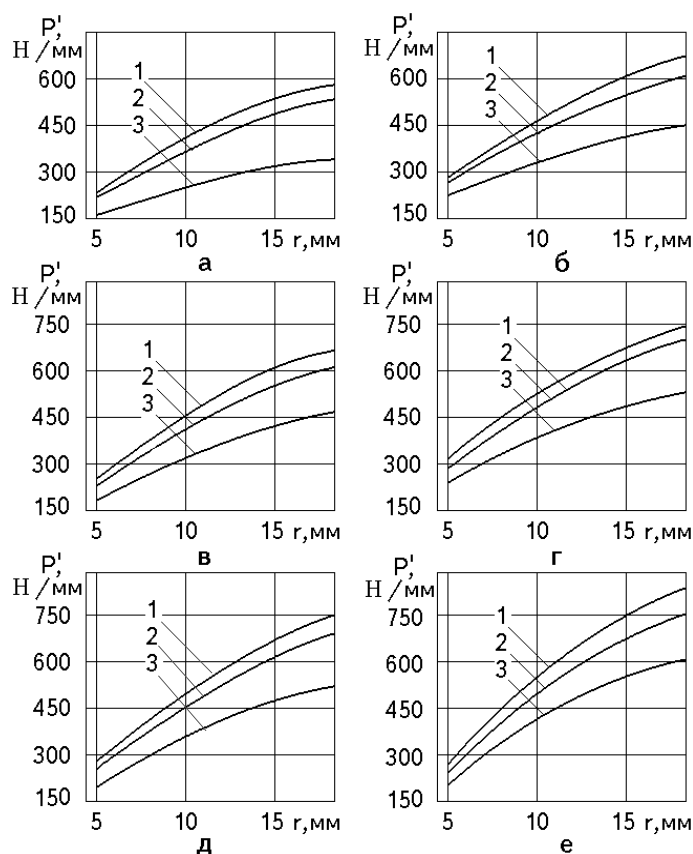
Н/мм при заданной величине пластической деформации покрытия 0,05...0,1 мм. Данное влияние уменьшается с увеличением температур, уменьшением пластических деформаций с 0,2 мм до 0,05 мм и скоростей деформаций с 1000 с^{-1} до $0,01 \text{ с}^{-1}$, т. к. при этом уменьшается сопротивление его деформации σ . Из рис. 8 следует, что влияние температуры покрытия, величин его пластической деформации и скорости деформации на погонную силу наиболее существенно при больших радиусах ролика. При радиусе ролика 20 мм:

– увеличение температуры покрытия с 900 до 1400 К приводит к падению погонной силы с 610...800 Н/мм до 330...627 Н/мм (на 34...73 %, с средним на 43,5 %);

– уменьшение величины пластической деформации покрытия с 0,1 до 0,05 приводят к падению погонной силы с 450...800 Н/мм до 330...750 Н/мм (на 6...36 %, в среднем на 21 %);

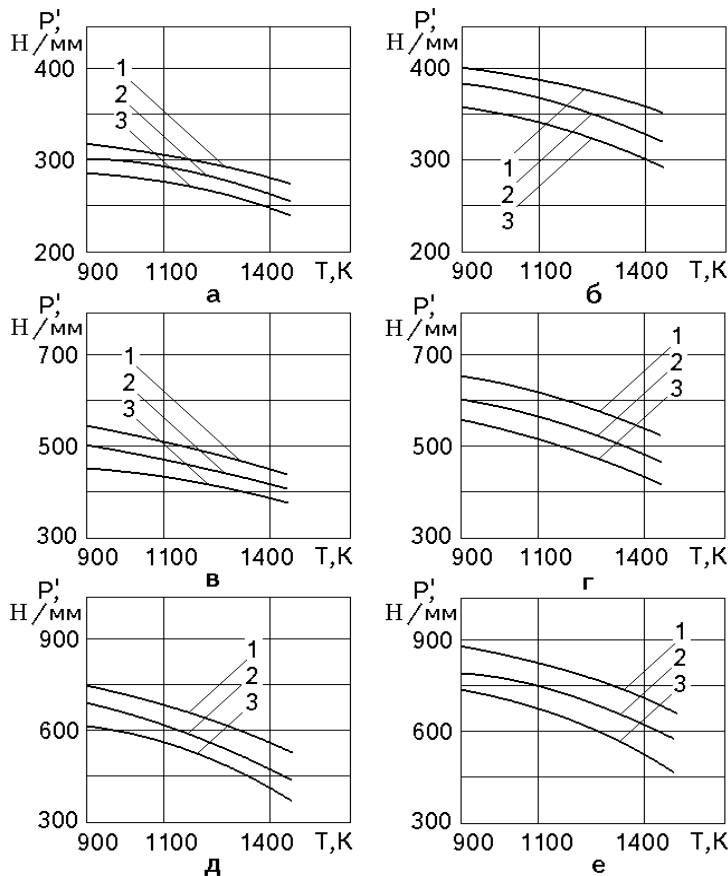
– уменьшение скорости деформации покрытия с 1000 с^{-1} до $0,01 \text{ с}^{-1}$ приводит к падению погонной силы с 520...820 Н/мм до 330...660 Н/мм (на 22...57 %, в среднем на 39,5 %).

При радиусе ролика 5 мм значения погонной силы находятся в интервале 150...330 Н/мм. При этом увеличение температуры с 900 до 1400 К, уменьшение величины пластической деформации с 0,1 мм до 0,05 мм и уменьшение скорости пластической деформации с 1000 с^{-1} до $0,01 \text{ с}^{-1}$ приводят к падению погонной силы соответственно на 27...43 % (в среднем на 35 %), на 18...40 % (в среднем на 39 %) и на 13...25 % (в среднем на 19 %).



а), б) – $\dot{\epsilon} = 0,01 \text{ с}^{-1}$;
 в), г) – $\dot{\epsilon} = 10 \text{ с}^{-1}$; д), е) – $\dot{\epsilon} = 1000 \text{ с}^{-1}$;
 а), в), д) – $\epsilon_{\text{пл}} = 0,05 \text{ мм}$;
 б), г), е) – $\epsilon_{\text{пл}} = 0,1 \text{ мм}$;
 1 – 1400 К; 2 – 1100 К; 3 – 900 К

Рисунок 8 – Расчетная зависимость погонной силы P' от радиуса обкатывающего ролика r



а), б) – $r = 5$ мм; в), з) – $r = 10$ мм;
 д), е) – $r = 15$ мм;
 а), в), д) – $\varepsilon_{пл} = 0,1$ мм;
 б), з), е) – $\varepsilon_{пл} = 0,2$ мм;
 1 – $\dot{\varepsilon} = 1000$ с⁻¹; 2 – $\dot{\varepsilon} = 10$ с⁻¹;
 3 – $\dot{\varepsilon} = 0,01$ с⁻¹

Рисунок 9 – Расчетная зависимость погонной силы P' от температуры T

4 Обсуждение и заключение

Полученные результаты расчетов показывают возможность ведения обкатки цилиндрических поверхностей с уменьшением энергоемкости процесса при уменьшении силы обкатки, для чего: необходимо применять ролики небольших радиусов, не более 5 мм, использовать термомеханическую обработку при высоких температурах до 1400 К и малых скоростях деформации ($\sim 0,01$ с⁻¹). Однако малые радиусы роликов приводят к повышению волнистости обкатываемой поверхности [6, 12]. Использование малых скоростей деформирования непроизводительно, ведет к большому времени обкатки, перегреву образца в зоне теплового воздействия, к существенным перепадам температур в покрытии между зоной нагрева и охлаждения, приводящим к термическим напряжениям в покрытии, его растрескиванию и отслоению.

Так, например, при скорости деформации покрытия $\dot{\varepsilon}_{cp} = 0,01$ с⁻¹ для образца с диаметром $D = 40$ мм, при длине контакта $L_1 = 4$ мм и величине деформации $\varepsilon = 0,1$ частота вращения образца составит $n = \frac{\dot{\varepsilon}_{cp} \cdot L_1}{\pi \cdot D \cdot \ln(1+\varepsilon)} \approx 0,0033$ с⁻¹. Это соответствует времени одного оборота около 5 мин.

Такое длительное время обкатки покрытия приведет к его перегреву и перегреву образца. Для предотвращения этого потребуется специальное охлаждение детали, обеспечивающее сохранение температуры покрытия и компенсацию температурной концентрации напряжений в покрытии.

С точки зрения нагрева образца, следовательно, целесообразны высокие скорости деформаций 100...1000 с⁻¹. Радиус ролика должен выбираться из компромисса в отношении требований невысокой величины силы обкатки и малой волнистости поверхности в интервале 5...12,5 мм.

Таким образом, целесообразным может быть решение использования двухступенчатой обкатки покрытия, обеспечивающей уменьшение потерь материала покрытия при шлифовании и упрочнение покрытия. На первой стадии обработку целесообразно проводить на высоких температурах (1400 ... 1473 К) при небольших длительностях воздействия с обкаткой на величину пластической деформации не более 0,2 мм при величине погонной силы 250...550

Н/мм. Покрытие при этом не упрочняется. На второй стадии обработку целесообразно проводить после прекращения нагрева покрытия при его постепенном охлаждении на воздухе с плавным увеличением силы обкатки до значений 400 ...800 Н/мм. Это обеспечивает упрочнение покрытия с созданием в нем сжимающих остаточных напряжений.

Список литературы

- 1 Барвинок, В. А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. - М. : Машиностроение, 1990. - 384 с.
- 2 Бабад-Захряпин А. А. Дефекты покрытий. - М. : Энергоатомиздат, 1984. -152 с.
- 3 Порошковая металлургия и напыленные покрытия / В. Н. Анциферов, Г. В. Бобов, Л. К. Дружинин и др. - М. : Металлургия, 1984. - 792 с.
- 4 Кудинов, В. В. Плазменные покрытия. - М. : Наука, 1977. - 184 с.
- 5 Пшибыльский В. Технология поверхностной пластической обработки: Пер. с польск. - М. : Металлургия, 1991. - 479 с.
- 6 Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. - М. : Машиностроение, 1984. -328 с.
- 7 Берштейн, А. Л. Термомеханическая обработка стали / А. Л. Бернштейн, В. А. Займовский, Л. М. Капутцина. - М. : Металлургия, 1983. - 480 с.
- 8 Полухин, П. И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: Справочник / П. И. Полухин, Г. Я. Гук, А. М. Галкин. - М. : Металлургия, 1983. - 252 с.
- 9 Яковлев, К. А. Разработка процесса термомеханического упрочнения поверхностей с газотермическими покрытиями / Автореферат дис. канд. техн. наук по спец. 05.03.01. - Воронеж, 1998. - 14 с.
- 10 Голуб, В. П. Методика анализа диаграмм растяжения жаропрочных сплавов / В. П. Голуб, В. А. Городецкий, А. С. Олейник, В. Н. Павлов // Заводская лаборатория . - 1988. - №8. - С. 93-95.
- 11 Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. - Пер. с англ. - М. : Наука, 1979. - 560 с.
- 12 Браславский, В. М. Технология обкатки крупных деталей роликами. - М. : Машиностроение, 1975. - 160 с.

References

- 1 Barvinok, V. A. Stress State Management and Properties of Plasma Coatings. - M.: Mashinostroenie, 1990. - 384 p.
- 2 Babad-Zakhryapin A. A. Coating Defects. - M.: Energoatomizdat, 1984. -152 p.
- 3 Powder Metallurgy and Sprayed Coatings / V. N. Antsiferov, G. V. Bobov, L. K. Druzhinin, et al. - M.: Metallurgy, 1984. - 792 p.
- 4 Kudinov, V. V. Plasma Coatings. - M.: Nauka, 1977. - 184 p.
- 5 Przybylski, V. Surface Plastic Treatment Technology: Translated from Polish. - M.: Metallurgy, 1991. - 479 p.
- 6 Odintsov, L. G. Hardening and finishing of parts by surface plastic deformation. - M.: Mechanical Engineering, 1984. -328 p.
- 7 Bernstein, A. L. Thermomechanical treatment of steel / A. L. Bernstein, V. A. Zaimovsky, L. M. Kaputsina. - M.: Metallurgy, 1983. - 480 p.
- 8 Polukhin, P. I. Resistance to plastic deformation of metals and alloys: Handbook / P. I. Polukhin, G. Ya. Guk, A. M. Galkin. - M.: Metallurgy, 1983. - 252 p.
- 9 Yakovlev, K. A. Development of the process of thermomechanical hardening of surfaces with gas-thermal coatings / Abstract of Cand. Sci. (Eng.) Dissertation on Specialization 05.03.01. - Voronezh, 1998. - 14 p.
- 10 Golub, V. P. Methodology for Analysis of Tensile Diagrams of Heat-Resistant Alloys / V. P. Golub, V. A. Gorodetsky, A. S. Oleynik, V. N. Pavlov // Factory Laboratory. - 1988. - No. 8. - P. 93-95.
- 11 Timoshenko, S. P. Theory of Elasticity / S. P. Timoshenko, J. Goodier. - Translated from English. - Moscow: Nauka, 1979. - 560 p.
- 12 Braslavsky, V. M. Technology of Roller Rolling of Large Parts. - M.: Mechanical Engineering, 1975. - 160 p.

DOI: 10.34220/2311-8873-2025-25-33



УДК 621.9.048

UDC 621.9.048

2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
И ПОВЕРХНОСТЕЙ
В КОМБИНИРОВАННЫХ
ЭЛЕКТРОД-ИНСТРУМЕНТАХ**

**DESIGN AND USE OF CURVILINEAR
SURFACES AND SURFACES
IN COMBINED ELECTRODE
TOOLS**

✉¹ **Суворов Александр Петрович**,
к.т.н., доцент кафедры графики, конструирования и информационных технологий в промышленном дизайне, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: alex_diz@inbox.ru

✉¹ **Suvorov Alexander Petrovich**,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of graphics, design and information technologies in industrial design, Voronezh state technical university, Voronezh, e-mail: alex_diz@inbox.ru

Кузовкин Алексей Викторович,
д.т.н., заведующий кафедрой графики, конструирования и информационных технологий в промышленном дизайне, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: akuzovkin@mail.ru

Kuzovkin Aleksey Viktorovich,
doctor of technical sciences, head of the department of graphics, design and information technologies in industrial design, Voronezh state technical university, Voronezh, e-mail: akuzovkin@mail.ru

Бондарев Александр Алексеевич,
студент кафедры систем информационной безопасности, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: sasha02110@mail.ru

Bondarev Alexander Alekseevich,
student of the department of information security systems, Voronezh state technical university, Voronezh, e-mail: sasha02110@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности применения поверхностей различной степени кривизны при проектировании изделий средствами систем автоматизированного проектирования (САПР). В настоящее время дизайнеры и конструкторы ведущих промышленных стран в своей работе опираются на классификацию таких поверхностей по параметру непрерывности от G0 до G3. В свою очередь, в соответствие параметрам непрерывности (G0-G3) производители сложной и наукоемкой продукции (автомобильная промышленность, авионика, сложная бытовая и энергетическая техника и др.) ставят понятие качества поверхности, которое описыва-

Annotation. The article discusses the features of using surfaces of varying degrees of curvature in the design of products using computer-aided design (CAD) systems. Currently, designers and engineers from leading industrial countries rely in their work on the classification of such surfaces by the continuity parameter from G0 to G3. In turn, in accordance with the continuity parameters (G0 - G3), manufacturers of complex and science-intensive products (automotive industry, avionics, complex household and energy equipment, etc.) put the concept of surface quality, which is described by indices C, B and A, respectively. However, it should be noted that at present there is no regulatory framework that would control or regulate the surface quality in the specified indices. It

ется индексами С, В и А соответственно. Однако следует отметить, что на сегодняшний момент отсутствует нормативная база, которая контролировала бы или регламентировала качество поверхности в указанных индексах. Именно отсутствие документов в виде ГОСТов, ОСТов, стандартов сертификации или стандартов ISO заставляет различных производителей вводить свои собственные внутренние нормативные документы, определяющие понятие качества поверхности классов А, В и С. Известны работы в этом направлении таких компаний как Audi, SAAB, Toyota и др. В свою очередь, разработчики САПР, откликаясь на запросы своих потребителей, занялись разработкой отдельных модулей, либо расширением проектного функционала программных продуктов с целью обеспечения возможности работы с поверхностями классов А, В и С. Учитывая актуальность проблемы, связанной с возможностью реализации в различных САПР проектирования поверхностей различной степени кривизны, авторами проведен анализ особенностей доступного инструментария, алгоритмов его реализации и возможностями его применения в условиях твердотельного моделирования. Выявлены общие подходы получения такого рода поверхностей на основе интерполяционных и аппроксимационных кривых. Рассмотрены случаи, в которых целесообразно применять кривые Безье высокого порядка и указаны особенности сплайнового и NURBS моделирования. В качестве примера использования таких поверхностей приводится проектирование комбинированного электрод-инструмента (ЭИ) для электрофизикохимических методов обработки с криволинейными каналами для прокачки рабочей жидкости.

Ключевые слова: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, НЕПРЕРЫВНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ, КРИВЫЕ БЕЗЬЕ, СПЛАЙН, NURBS МОДЕЛИРОВАНИЕ.

is the absence of documents in the form of GOSTs, OSTs, certification standards or ISO standards that forces various manufacturers to introduce their own internal regulatory documents defining the concept of surface quality of classes A, B and C. Work in this direction is known from such companies as Audi, SAAB, Toyota, etc. In turn, CAD developers, responding to the requests of their customers, began to develop individual modules or expand the design functionality of software products in order to ensure the ability to work with surfaces of classes A, B and C. Given the relevance of the problem associated with the possibility of implementing the design of surfaces of varying degrees of curvature in various CAD systems, the authors analyzed the features of the available tools, algorithms for its implementation and the possibilities of its application in solid modeling. General approaches to obtaining such surfaces based on interpolation and approximation curves are identified. Cases are considered in which it is advisable to use high-order Bezier curves and the features of spline and NURBS modeling are indicated. As an example of using such surfaces, the design of a combined electrode-tool (ET) for electrophysical-chemical processing methods with curvilinear channels for pumping the working fluid is given.

Keywords: COMPUTER MODELING, COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS, SURFACE CONTINUITY, BEZIER CURVES, SPLINE, NURBS MODELING.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В настоящее время большинство изделий, конкурентных и привлекательных на потребительском рынке, характеризуются наличием поверхностей, отвечающих двум главным потребительским свойствам. Первое – это высокое качество поверхности и, как следствие, высокие эксплуатационные свойства изделия в целом. Второе – это привлекательный внешний вид и высокие эргономические характеристики. Эти свойства во многом определяются применяемыми конструкционными материалами и технологическими методами их формообразования, обеспечивающими малую шероховатость поверхности, величину остаточных напряжений в поверхностном слое, плавность линий перехода одной поверхности в другую и тому подобные характеристики. С другой стороны, высокая степень кривизны готовых поверхностей, плавность линий и формы изделия обеспечивают целостность композиционного решения и, зачастую, являются определяющими для высокой потребительской привлекательности конечного продукта. В доступной литературе значительное внимание уделяется классификации и структуризации поверхностей как работающих на привлекательность изделия, так и на его высокие эксплуатационные характеристики [1-4]. При этом целостность формы, обеспечивающая высокие технические и потребительские характеристики, важна и для сугубо утилитарных машин и механизмов и для товаров широкого потребления. Анализ существующей нормативной базы показал, что каждый из производителей такой продукции пользуется собственными качественными характеристиками подобных поверхностей. Однако удалось выявить общие параметры, в трактовке которых подходы различных производителей очень похожи:

1) Поверхности класса А представляют собой составную поверхность, реализуемую с применением непрерывностей высокого порядка (G2 и G3). Именно поэтому при визуализации такие поверхности характеризуются неразличимыми стыками и плавными цельными бликами по всей поверхности, что хорошо видно при применении различных методик визуального анализа кривизны поверхности (зебра анализ, кривизна по Гауссу, анализ угла наклона и др.). Поверхности этого класса используются для моделирования объектов типа корпуса промышленного прибора, авионики и бытовой техники, мебели и т.д.

2) Поверхности класса В представляют собой составные поверхности, реализуемые с непрерывностью не выше G1. Такие поверхности при визуализации также характеризуются неразличимыми стыками, но при этом блики приобретают некоторое искажение. Подобные поверхности применяются при проектировании и производстве промышленных изделий, у которых снижены потребительские, эстетические и эксплуатационные свойства без потери функциональности и прочности.

3) Поверхности класса С представляют собой составную модель, реализуемую с использованием непрерывности G0. Такие поверхности при визуализации характеризуются различимыми стыками и ломаными бликами [5, 6]. Они применяются при проектировании деталей утилитарного назначения, как правило, скрытых от потребителя внутри устройства.

4) В связи с этим можно сделать вывод, что данный вид классификации скорее представляет собой маркетинговый подход для выделения в класс А абстрактной группы поверхностей, к которым предъявляются повышенные требования по степени непрерывности и кривизны. Как правило, эксплуатационные показатели поверхностей класса А практически ничем не отличаются от поверхностей В и С.

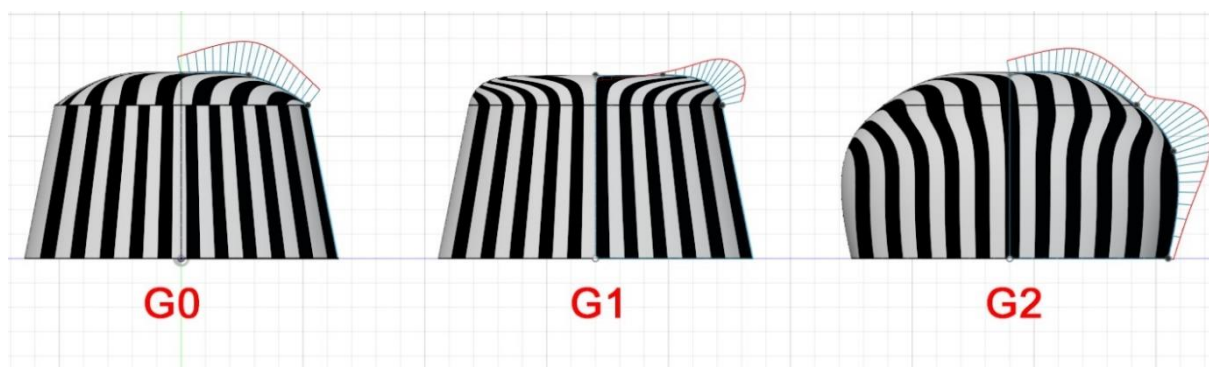
2 Материалы и методы

При проектировании реальных объектов промышленного дизайна приходится сочетать непрерывности G0, G1 и G2, применение каждого из которого зависит от поставленных задач. Как правило, выделенные типы непрерывности можно классифицировать следующим образом:

1) Непрерывность G_0 (положение) означает, что конечные грани двух поверхностей соприкасаются. Касательные и значения кривизны кривых или поверхностей не совпадают. Переход между двумя ребрами или поверхностями представляет собой грань, что существенно заметно при проведении анализа зebra (рис. 1, а).

2) Непрерывность G_1 (касательная) представляет собой более плавный переход между поверхностями. Две поверхности движутся в одном направлении в месте соединения, но коэффициент изменения кривизны (скорость) является заметным (рис. 1, б).

3) Непрерывность G_2 (кривизна) – представляет собой плавный переход между поверхностями. Такой переход при проведении анализа “zebra” зрительно неразличим. Две кривые совпадают в конечных точках, являются касательными и имеют одинаковую “скорость” (кривизну) при соединении (рис. 1, в).



а – непрерывность G_0 ; б – непрерывность G_1 ; в – непрерывность G_2

Рисунок 1 – Виды непрерывности поверхности

Современные САПР реализуют построение поверхностей с непрерывностью G_0 - G_3 различными способами. На этапе эскизирования непрерывность G_0 достигается соединением двух точек, то есть наложением на точки зависимости “Совпадение” (Coincident), непрерывность G_1 характеризуется зависимостями “Совпадение” (Coincident) и “Касательная” (Tangent). Получение поверхностей, характеризующихся кривизной более высокого порядка (G_2 и G_3), вызывает определенные трудности. Это связано с тем, что их построение предполагает подбор уровня кривизны, который должен осуществляться вручную или уже с помощью инструментов твердотельного моделирования. Как правило, это реализуется с помощью операции “Сопряжение” (Fillet), которая в различных САПР организована по собственному алгоритму.

Таким образом, наблюдается определенное противоречие: на этапе разработки концепции будущего изделия закладывается форма поверхностей с высокой степенью кривизны, а конструкторская проработка на этапе твердотельного моделирования заставляет следовать по пути упрощения формы и снижения, в конечном счете, эксплуатационных и эстетических свойств готового изделия. При этом не все современные САПР обеспечивают возможность получения поверхностей с кривизной G_3 . Приведем список наиболее популярных программных продуктов с возможностью работы с поверхностями класса G_3 : Alias компании Autodesk, автономное программное обеспечение ICEM Surf, ICEM Shape Design и ICEM Shape Design AeroExpert, также следует отметить систему Dassault, интегрированную в виде отдельного модуля Catia V5.

3 Результаты исследований

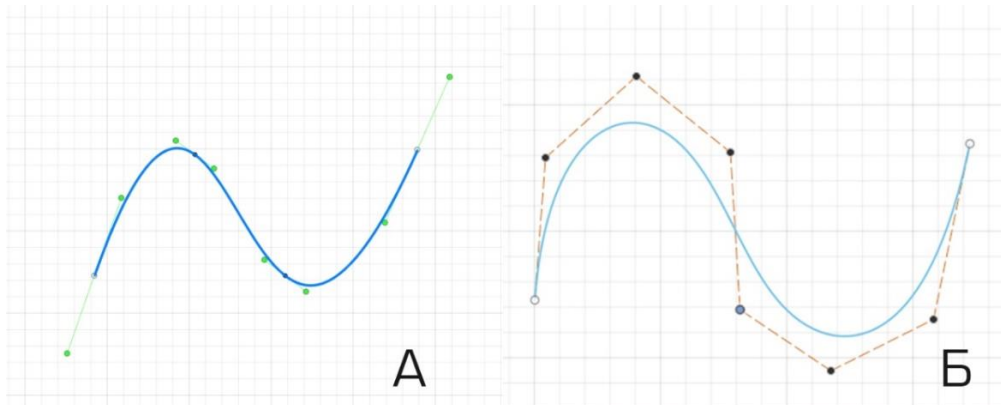
Установлено, что в современных САПР для использования в работе доступны кривые двух типов [7-9]:

1) Интерполяционные кривые, строящиеся через все контрольные точки, созданные пользователями. Наиболее активно применяемой кривой такого типа является кривая Эрмита (рис. 2, а).

2) Аппроксимационные кривые, реализующиеся на основе положения контрольных точек, но проходящие рядом с контрольной точкой. Из кривых данного типа, как правило, выделяют кривые Безье и В-сплайны (рис. 2, б).

Для получения кривых и поверхностей с высокой степенью кривизны целесообразно использовать кривые Безье высокого порядка (рис. 3). В таких кривых повышение количества опорных точек позволяет в большей степени управлять кривизной проектируемой кривой.

Однако у кривых Безье есть ряд недостатков. Во-первых, с их помощью достаточно сложно точно представить конические сечения (например, дугу окружности), а во-вторых, с увеличением числа контрольных точек достаточно сильно растет алгебраическая степень, что весьма затрудняет численные расчеты [10-12].



a – интерполяционная кривая; *б* – аппроксимационная кривая

Рисунок 2 – Кривые на основе сплайнов

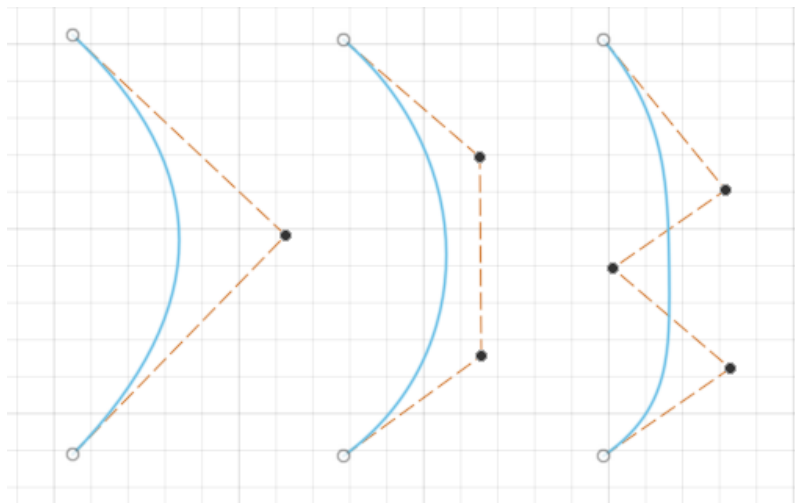


Рисунок 3 – Кривые Безье разного порядка

В связи с этими особенностями кривые Безье активно применяются для проектирования кривых и поверхностей с кривизной высокого порядка G2 и выше. Наиболее востребовано это при проектировании аэродинамических характеристик скоростных автотранспортных средств, что позволяет заметно улучшить их технико-экономические показатели. Снижение аэродинамического сопротивления повышает топливно-экономические и скоростные характеристики автотранспортного средства [13].

Данная технология наиболее полно реализована в программных средствах Autodesk Alias и ICEM Surf, где применяется для построения сложных поверхностей различного предназначения.

4 Обсуждение и заключение

В настоящее время при проектировании новых изделий большое внимание отводится не только функциональным характеристикам изделия, но и художественным, аэро(гидро)динамическим и эргономическим показателям. В достижении этих показателей важную роль играет использование поверхностей с непрерывностями высокого порядка.

Использование непрерывностей высокого порядка G2 и выше является важной при проектировании и дальнейшем изготовлении, например, элементов внешней и внутренней отделки автомобильной промышленности [14], где требуется совершенство формы и функциональное содержание каждой детали (рис. 4).

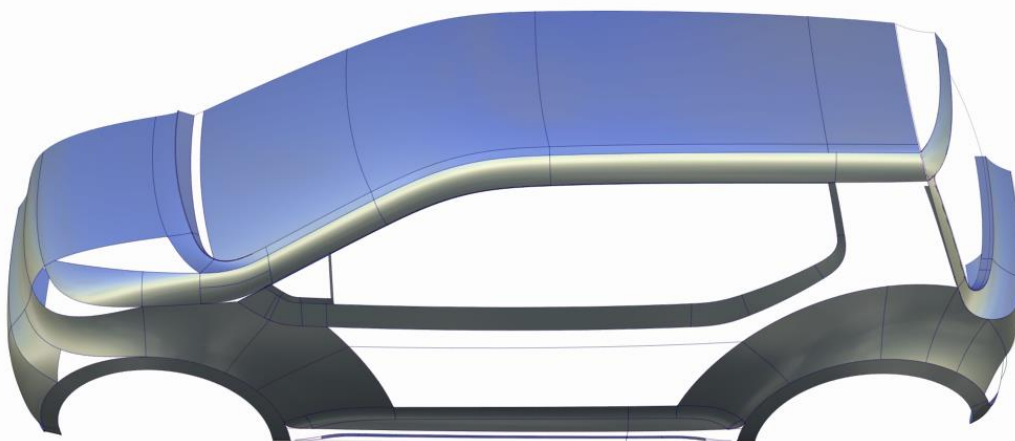
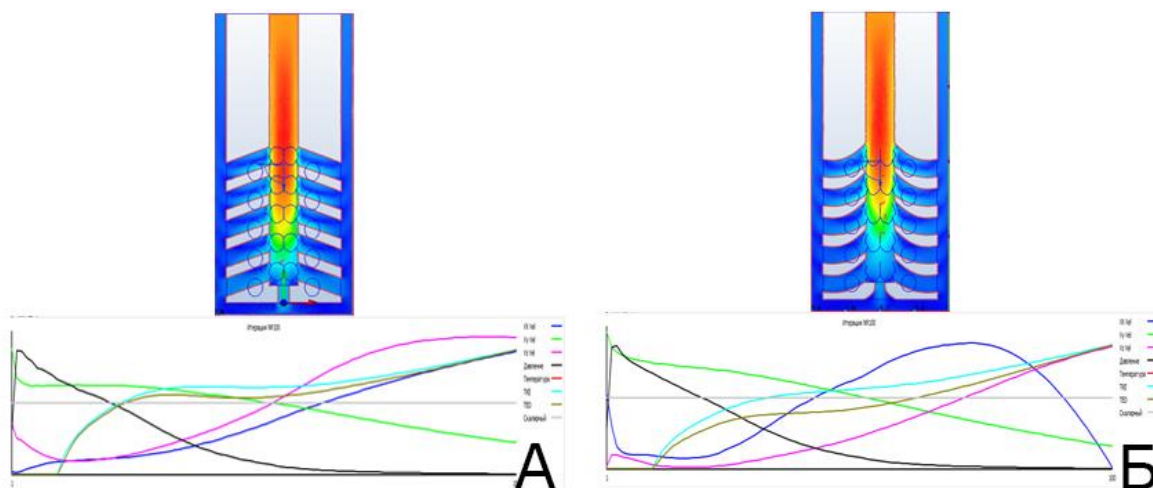


Рисунок 4 – Проектирование кузова автомобиля на основе криволинейных поверхностей

Требования по проектированию достигаются за счет использования в САПР поверхностей или патчей с непрерывностью требуемого типа и дальнейшим их объединением в полноценный объект. А вот изготовление штампов и пресс-форм для физической реализации процесса формообразования готовых деталей может быть реализовано с применением методов ЭЭ и ЭХ обработок. В этих случаях встает задача проектирования, изготовления и применения электродов инструментов (ЭИ) с рабочей поверхностью высокой степени кривизны. Повышение степени кривизны рабочей поверхности ЭИ, в свою очередь, вызывает образование застойных зон в зоне обработки, когда продукты обработки не могут эффективно удаляться из межэлектродного промежутка и процессы ЭЭО и ЭХО обработки снижают свою эффективность или полностью прекращаются. Проблему предлагается решать за счет использования комбинированного пористого ЭИ, полученного аддитивными методами.

Каналы подачи рабочих сред внутри ЭИ проектируются на основе кривых Безье. Это позволяет в процессе итераций достичь рациональной формы каналов, имеющих выгодные гидродинамические траектории, снижающие турбулентность и обеспечивающие равномерное распределение рабочих сред в зоне обработки. Кроме того, благодаря сглаженным контурам уменьшается вероятность образования застойных зон, что повышает эффективность вымывания продуктов ЭЭО и ЭХО (рис. 5).

Авторами было проведено компьютерное гидродинамическое моделирование, которое показало, что применение кривых Безье способствует улучшению гидродинамических характеристик каналов, снижает гидравлическое сопротивление. Повышение скорости потока рабочих сред обеспечивает стабильность протекания процесса обработки.



a – линейные каналы; *б* – каналы плавной формы на основе кривых Безье

Рисунок 5 – Гидродинамический анализ процесса прокачки электролита

Описанные выше особенности проектирования могут реализовываться во многих системах автоматизированного проектирования, в которых есть возможность проектирования на основе поверхностей или патчей. Наиболее удобными и обладающими необходимым функционалом являются системы Autodesk Alias и ICEM Surf. Они содержат в себе достаточно широкий набор инструментов для решения такого рода задач по сравнению с другими САПР. Как альтернативу реализации такого рода задач можно назвать использование других методов трехмерного моделирования, основанных на NURBS кривых или t -сплайнов в таких программах как Blender и 3ds max с последующей доработкой в системах автоматизированного проектирования и выдерживания требуемых характеристик, что существенно расширяет возможности современных САПР. Однако в данном случае возникает возможная сложность передачи данных между различными программными средствами, но универсальные зависимости, используемые при определении сплайнов, упрощают данную задачу [15].

Применение кривых Безье при проектировании комбинированных ЭИ расширяют возможности ЭЭО и ЭХО за счет повышения точности, эффективности и качества изготавливаемых деталей и узлов.

Список литературы

- 1 Муфтеев, В. Функциональные кривые высокого качества □ инновация в геометрическом моделировании от C3D Labs / В. Муфтеев, А. Максименко // САПР и графика. – 2021. – № 5(295). – С. 62-72.
- 2 Алешина, А. Э. Новый подход к автоматизации проектирования средств технологического оснащения для электрических методов обработки / А. Э. Алешина, А. В. Кузовкин, А. П. Суворов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 4, № 4(42). – С. 37-44.
- 3 Ившин, К. С. Принципы современного трехмерного моделирования в промышленном дизайне / К. С. Ившин, А. Ф. Башарова // Архитектон: известия вузов. – 2012. – № 3(39). – С. 11.
- 4 Кузовкин, А. В. Проектирование, изготовление и применение комбинированного инструмента для формирования криволинейных поверхностей / А. В. Кузовкин, А. П. Суворов, Ю. С. Золототрубова // Воронежский научно-технический Вестник. – 2021. – Т. 2, № 2(36). – С. 35-41.
- 5 Суворов, А. П. Использование методов поверхностного моделирования в условиях промышленного производства / А. П. Суворов, Д. Ю. Левин, С. Д. Кандыба // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2023. – № 2(45). – С. 16-19. – EDN SUTANU.
- 6 Сычева, А. А. Функционально-воксельное моделирование кривых Безье / А. А. Сычева // Геометрия и графика. – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 63-72. – DOI 10.12737/2308-4898-2022-9-4-63-72. – EDN MGXBEE.
- 7 Короткий, В. А. Конструирование G2-гладкой составной кривой на основе кубических сегментов Безье / В. А. Короткий // Геометрия и графика. – 2021. – Т. 9, № 2. – С. 12-28. – DOI 10.12737/2308-4898-2021-9-2-12-28. – EDN NOHOU.

- 8 Функционально- воксельное моделирование кривой Безье / М. А. Локтев, А. И. Разумовский, А. А. Сычева, П. М. Харланова // Перспективы науки. – 2020. – № 11(134). – С. 196-198. – EDN OPXBEN.
- 9 Зонтов, З. Е. Кривые Безье виды и способы построения / З. Е. Зонтов // Дни студенческой науки: Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ, Москва, 01–05 марта 2021 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2021. – С. 455-457. – EDN FNEUXB.
- 10 Агеев, В. Н. Метод аппроксимации гладкого контура кривыми Безье / В. Н. Агеев, Н. И. Овсянникова // Системы управления и информационные технологии. – 2019. – № 2(76). – С. 4-7. – EDN WDYMYG.
- 11 Chen F., Lou W. Degree Reduction of Interval Bézier Curves. CAD Computer Aided Design. 2000. vol. 32(10). pp. 571-582. EDN: AFOOSD
- 12 Fadhel, M. Geometric piecewise cubic Bézier interpolating polynomial with C2 continuity / M. Fadhel, Z. Omar // Informatics and Automation. – 2021. – Vol. 20, No. 1. – P. 133-159. – DOI 10.15622/ia.2021.20.1.5. – EDN UMURSQ.
- 13 Ge Q.J., Kang D. Motion Interpolation With G2 Composite Bezier Motions. 1995. pp. 520-525
- 14 Кутяев, А. В. Влияние аэродинамики на формообразование кузова при проектировании автомобиля: специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кутяев Алексей Владимирович. – Москва, 2009. – 20 с. – EDN NKUFMJ.
- 15 Шикин Е.В., Борескова А.В. Компьютерная графика. Полигональные модели.-М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001 – 464 – с.

References

- 1 Mufteev, V. High-quality functional curves - an innovation in geometric modeling from C3D Labs / V. Mufteev, A. Maksimenko // CAD and graphics. - 2021. - No. 5 (295). - P. 62-72.
- 2 Aleshina, A. E. A new approach to automating the design of technological equipment for electrical processing methods / A. E. Aleshina, A. V. Kuzovkin, A. P. Suvorov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. - 2022. - Vol. 4, No. 4 (42). - P. 37-44.
- 3 Ivshin, K. S. Principles of modern three-dimensional modeling in industrial design / K. S. Ivshin, A. F. Basharova // Architecton: news of universities. – 2012. – No. 3(39). – P. 11.
- 4 Kuzovkin, A. V. Design, manufacture and application of a combined tool for forming curved surfaces / A. V. Kuzovkin, A. P. Suvorov, Yu. S. Zolototrubova // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2021. – Vol. 2, No. 2(36). – P. 35-41.
- 5 Suvorov, A. P. Use of surface modeling methods in industrial production / A. P. Suvorov, D. Yu. Levin, S. D. Kandyba // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. – 2023. – No. 2(45). – P. 16-19. – EDN SUTANU.
- 6 Sycheva, A. A. Functional-voxel modeling of Bezier curves / A. A. Sycheva // Geometry and graphics. - 2021. - Vol. 9, No. 4. - Pp. 63-72. - DOI 10.12737/2308-4898-2022-9-4-63-72. - EDN MGXBEE.
- 7 Korotkiy, V. A. Construction of a G2-smooth composite curve based on cubic Bezier segments / V. A. Korotkiy // Geometry and graphics. - 2021. - Vol. 9, No. 2. - Pp. 12-28. - DOI 10.12737/2308-4898-2021-9-2-12-28. - EDN NOIHOY.
- 8 Functional-voxel modeling of the Bezier curve / М. А. Локтев, А. И. Разумовский, А. А. Сычева, П. М. Харланова // Prospects of Science. - 2020. - No. 11 (134). - P. 196-198. - EDN OPXBEN.
- 9 Zontov, Z. E. Bezier curves types and construction methods / Z. E. Zontov // Days of Student Science: Collection of reports of the scientific and technical conference on the results of research work of students of the Institute of Civil Engineering and Architecture of the National Research University MGSU, Moscow, March 01-05, 2021. - Moscow: National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2021. - P. 455-457. - EDN FNEUXB.
- 10 Ageyev, V. N. Method of approximating a smooth contour by Bezier curves / V. N. Ageyev, N. I. Ovsyannikova // Control Systems and Information Technologies. - 2019. - No. 2 (76). - P. 4-7. - EDN WDYMYG.
- 11 Chen F., Lou W. Degree Reduction of Interval Bezier Curves. CAD Computer Aided Design. 2000. vol. 32 (10). pp. 571-582. EDN: AFOOSD
- 12 Fadhel, M. Geometric piecewise cubic Bezier interpolating polynomial with C2 continuity / M. Fadhel, Z. Omar // Informatics and Automation. - 2021. - Vol. 20, No. 1. - P. 133-159. – DOI 10.15622/ia.2021.20.1.5. – EDN UMURSQ.

13 Ge Q.J., Kang D. Motion Interpolation With G2 Composite Bezier Motions. 1995. pp. 520-525

14 Kutyaev, A.V. The influence of aerodynamics on the body shaping in car design: specialty 05.05.03 "Wheeled and tracked vehicles": abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Kutyaev Aleksey Vladimirovich. – Moscow, 2009. – 20 p. – EDN NKUFMJ.

15 Shikin E.V., Boreskov A.V. Computer graphics. Polygonal models.-M.: DIALOG-MIFI, 2001 – 464 p.

© Суворов А.П., Кузовкин А. В., Бондарев А. А., 2025

DOI: 10.34220/2311-8873-2025-34-39



УДК 621.047; 621.048

UDC 621.047; 621.048

2.5.6 – технология машиностроения

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НАУКОЕМКИХ ИЗДЕЛИЙ

INTEGRATED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FOR HIGH-TECH PRODUCTS

✉¹ **Смоленцев Владислав Павлович**,
профессор, д.т.н., профессор кафедры технологи-
и машиностроения, лауреат премии Прави-
тельства РФ, Воронежский государственный
технический университет, г. Воронеж,
e-mail: ysmolen@inbox.ru

✉¹ **Smolentsev Vladislav Pavlovich**,
professor, doctor of technical sciences, professor of
the department of mechanical engineering technol-
ogy, laureate of the Russian Federation Government
Prize, Voronezh state technical university, Voronezh,
e-mail: ysmolen@inbox.ru

Омигов Борис Иванович,
к.т.н., ученый секретарь АО Научно-про-
изводственное предприятие «Техномаш»
им. С. А. Афанасьева, г. Москва,
e-mail: b.omigov@gmal.cam

Omigov Boris Ivanovich,
candidate of technical sciences, scientific secretary of
JSC Scientific-production enterprise "Tekhnomash"
named after. S. A. Afanasieva, Moscow,
e-mail: b.omigov@gmal.cam

Сафонов Сергей Владимирович,
д.т.н., профессор Воронежского государствен-
ного технического университета, г. Воронеж,
e-mail: safonov@vorstu.ru

Safonov Sergey Vladimirovich,
doctor of technical sciences, professor of the Vo-
ronezh state technical university, Voronezh,
e-mail: safonov@vorstu.ru

Аннотация. Рассмотрена методология обра-
ботки производственной технологичности
наукоемкой продукции машиностроения. Для
этого широко использовался опыт модерниза-
ции и запуска в производство перспективных
объектов, главным образом из авиакосмиче-
ской отрасли, что послужило базой для разра-
ботки для неё путей повышения качества на
различных этапах производства при создании
новых изделий с повышением уровня их тех-
нологичности, сокращением сроков освоения
серийных изделий, возможности замены им-
портных товаров на отечественные. Раскрыта
научная база для управления качеством на
всех этапах создания востребованных видов
продукции машиностроения.

Annotation. The methodology of working out the
production manufacturability of high-tech engi-
neering products is considered. For this purpose,
the experience of modernization and commission-
ing of promising facilities, mainly from the aero-
space industry, was widely used, which served as
the basis for developing ways to improve quality
at various stages of production when creating new
products with an increase in their level of manu-
facturability, reducing the development time of se-
rial products, the possibility of replacing imported
goods with domestic ones. The scientific basis for
quality management at all stages of creation of de-
manded types of mechanical engineering products
is disclosed.

Ключевые слова: КАЧЕСТВО, ПРОИЗВОД-
СТВЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ,
СИСТЕМА, ЭТАПЫ ПРОИЗВОДСТВА.

Keywords: QUALITY, PRODUCTION MANU-
FACTURABILITY, SYSTEM, PRODUCTION
STAGES.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

При создании новой техники требуется детальная отработка технологичности, обеспечивающая высокое качество продукции на этапах жизненного цикла изделий, начиная с обоснования потребности, оценки материальной базы изготовителя, технико-экономического обоснования запуска объектов в серийное производство с рассмотрением стадий эксплуатации, обслуживания, утилизации продукции. Для этого требуется современная система научного управления качеством продукции, где в качестве одного из инструментов используется производственная технологичность. В свою очередь, система научного управления качеством продукции требует разработки методологии отработки производственной технологичности наукоемкой продукции машиностроения на основе научной базы для управления качеством на всех этапах её создания. Разработка такой методологии представляет актуальную проблему, обусловленную причинами:

- расширяющимися возможностями современного оборудования [1];
- отсутствием надежных количественных моделей производственной технологичности, связанных с неполнотой информации, преобладанием качественных факторов [2] и особенностями расчета показателей технологичности [3];
- наличием ситуаций, связанных с недостаточностью необходимых справочных данных [4], в том числе данных для оценки, например, с отсутствием и неапробированностью специальной технологической оснастки и сложностью оценки принимаемых решений, влияющих на себестоимость продукции [3].

2 Материалы и методы

Для решения данной проблемы использовались информационно-аналитические исследования, результаты обмена опытом специалистов авиационно-космической отрасли и обширные авторские исследования.

В работах [5-8] рассмотрены основные стадии жизненного цикла создания новых и модернизации используемых наукоемких изделий. Эти этапы включают:

- анализ потребительских характеристик и требований заказчиков к номенклатуре и качеству создаваемой продукции машиностроения [9, 10]. Здесь должна проводиться отработка технологичности создаваемых и улучшаемых изделий с учетом получения положительных экономических результатов. В работе это раскрыто на примерах применения в машиностроении комбинированных методов обработки с наложением полей [11]. Для необоронных отраслей дополнительно требуется обосновать объем и возможность реализации продукции за рубежом, особенно в дружественные страны;
- проектирование средств и объектов обработки, изготовление макетов или опытных образцов новых изделий, изготовление или использование имеющихся испытательных средств, испытание первых образцов, доработка проектов по результатам испытаний;
- отработка производственной (а в ряде случаев и конструкторской) технологичности, оптимизация выбора или проектирование, изготовление и отладка средств технологического оснащения. Для опытных образцов преимущественно используют сборно-разборные, переналаживаемые приспособления, универсальный инструмент и оборудование. При возможности используют типовые технологические процессы обработки с имеющимися средствами автоматизации;
- по результатам отработки технологичности устанавливают производственную базу или создают новое станочное оборудование и разрабатывают технологии его применения [12]. Далее вносят коррективы в материалы по отработке технологичности, в том числе оценку ожидаемого повышения качества создаваемой продукции [13]. Анализируют достигнутые и перспективные эксплуатационные результаты, обосновывают возможный период выпуска создаваемых изделий;

– при необходимости изменяют или проектируют новую организационную структуру. В ряде случаев это становится стимулом модернизации всего производства [14] и его переоснащения с использованием современного оборудования;

– разрабатывают условия запуска и освоения серийного выпуска продукции требуемого качества. Эти материалы включают производственные инструкции, наставления, стандарты, системы обучения персонала, техники безопасности;

– технологическое, организационное и административное сопровождение продукции, пути расширения зоны ее использования и потребления, систематическое улучшение качества изделий на всех этапах их жизненного цикла вплоть до утилизации;

– анализ накопленного опыта, научное обоснование результатов эксплуатации и использования их для проектирования, модернизации и выпуска продукции новых поколений.

На этапах организационного сопровождения может формироваться система взаимодействия между качеством исходного сырья, объектами внешних поставок и потребительскими характеристиками создаваемой и поставляемой продукции. Это позволяет улучшить деловые связи между заказчиком, разработчиком и изготовителем для повышения качества изделий, особенно в тех случаях, когда создаются наукоемкие объекты нового поколения и отсутствует база для сравнения показателей проектируемой и имеющейся в производстве продукции. Для решения такой задачи могут потребоваться новые модели и алгоритмы управления качеством, учитывающие деловые связи и научный потенциал исполнителей.

На рис. 1 приведена укрупненная блочная схема этапов жизненного цикла типового изделия, которая при моделировании может быть принята за основу дальнейших типовых разработок.



Рисунок 1 – Взаимосвязи между основными этапами жизненного цикла изделия

Для управления качеством на этапах, показанных на рис. 1, предложены модели и алгоритмы, приведенные в [5-7] и используемые при освоении в серийном производстве, а также для технического сопровождения в основном создаваемой наукоемкой продукции.

В системе данных исследований объединяющим элементом являются маркетинговые исследования, которые включают оценку эффективности, потребности в новой продукции и могут рассматриваться как часть отработки технологичности при запуске в производство перспективных изделий. Изучению рынка предшествует поиск и оценка:

– аналогов по информационным источникам (по интернету, литературе, материалам конференций) с использованием личного и профессионального опыта коллегиального сообщества;

– возможности создания объектов нового поколения (наличие открытий, патентов, научных разработок по тематике работы);

– результатов экспертиз, предварительно оценивающих предельные характеристики создаваемой продукции и возможности ее изготовления в требуемые сроки с ожидаемой стоимостью.

Кроме того, требуется прогноз конкурентоспособности изделий на время, не менее срока окупаемости ожидаемых затрат на создание и выпуск продукции.

3 Результаты исследований

Структурная модель маркетинговых исследований при подготовке к выпуску новой продукции приведена на рис. 2.



Рисунок 2 – Структурная модель проведения мероприятий маркетинговых исследований при подготовке к выпуску новой продукции

Маркетинг (рис. 2) обычно проводится изготовителем изделий совместно с разработчиком, где в различные периоды заинтересованным лицом может выступать как изготовитель, так и разработчик. Это во многом зависит от организационной структуры комплекса «разработчик-изготовитель». Если они связаны только деловыми интересами, то возможна ситуация, когда разработчики заняты созданием объектов, свойственных другим изготовителям, и не заинтересованы в загрузке традиционного предприятия – изготовителя. Тогда приходится этап маркетинга выполнять изготовителю. Результатом исследований этого этапа должен стать бизнес-план, включающий целый ряд мероприятий, основная часть которых приведена на рис. 2.

Для реализации маркетинговых исследований по структуре создан алгоритм [5] (рис. 2), в котором принято, что предприятие-изготовитель продукции сохраняет сложившуюся специализацию и использует, в основном, собственные наработки для выпуска новых изделий. В этом случае может использоваться имеющаяся информационная база (как правило, автоматизированная), большинство средств имеющегося технологического оснащения, в том числе испытательная база, основной штат исполнителей, сохраняются связи с поставщиками, разработчиками, известны возможности и потенциал всех соисполнителей, проведена необходимая и допустимая реклама создаваемого изделия, обсуждены основные показатели новой продукции (требуемые заказчиком, достигнутые на аналогах), изучены интеллектуальные разработки (результаты научных исследований, патенты, открытия и др.), обоснованы (например путем экспертных оценок, частичных или полных испытаний изделий) предельно возможные эксплуатационные характеристики новой продукции.

Маркетинговые исследования требуют большой подготовительной работы и являются инструментом управления качеством изделий [9, 13, 14]. Здесь должны учитываться не только технические характеристики, экономические показатели, но и организационные связи, ответственность продукции, стабильность заказов, возможность сопровождения продукции в эксплуатации, экологическая безопасность, возможность повторного использования, ограничения при утилизации изделия или его частей.

На стадии проведения маркетинга (рис. 2) требуется привлекать к участию в анализе квалифицированных экспертов (специалистов, ученых и др. [9, 13]), использовать достоверные методики испытаний [14], экспертные исследования, объективный анализ собственного технического, финансового и организационного потенциала [9], возможно более широкий резерв заказчиков, разработчиков, поставщиков и других соисполнителей [5, 11].

Информационная база открывает возможность обеспечения специалистов материалами для укрупненной оценки потребности в средствах технологического оснащения, затратах на реконструкцию производства под новое изделие, реформирование организационной структуры, дает возможность оценить стоимость, пути и сроки выполнения мероприятий.

При подборе соисполнителей и заказчиков учитывается их достоверный потенциал, обязательность, географическое положение. От этого зависят сроки выполнения работ и их стоимость [7, 8].

Маркетинговые исследования являются базой для построения интегрированной системы менеджмента качества наукоемких изделий, включающей основные этапы отработки производственной технологичности качественных изделий машиностроения [5-7] по алгоритмам проведения маркетинговых исследований при создании перспективных наукоемких изделий [5].

4 Обсуждение и заключение

Разработанная система менеджмента качества изделий в машиностроении и механизм управления ее параметрами на этапах жизненного цикла изделий, используя разработанные алгоритмы, в том числе при создании перспективных наукоемких изделий, позволяет прогнозировать достижение высокого уровня эксплуатационных характеристик новых высокотехнологичных объектов для поддержания их конкурентоспособности и востребованности.

Предложен новый подход к выбору технологических методов и средств для повышения качества наукоемких изделий с учетом влияния различных воздействий.

Результаты работы дают возможность обеспечить высокий уровень технологичности изделий при сохранении требуемых показателей качества изготовления, весомые технико-экономические результаты.

Рассмотренные в статье материалы совместно с результатами работ авторов позволяют оценить состояние и пути обеспечения высокой технологичности наукоемких изделий в организации работ менеджмента качества продукции и развитию технологической науки в области отечественного машиностроения.

Список литературы

1 Бокова, Л. Г. Совершенствование оценивания производственной технологичности в системе планирования многономенклатурных технологических процессов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Л. Г. Бокова, Саратовский ГТУ. – Саратов, 2013 – 20 с.

2 Ирзаев Г.Х. Экспертные методы управления технологичностью промышленных изделий. – Москва: Инфра-Инженерия, 2010. – 192 с.

3 Rastegaev E. Ensuring Production Adaptability In The Conditions Of Serial Production (Обеспечение производственной технологичности в условиях серийного производства) // Norwegian Journal of development of the International Science. – University of Oslo, Norway. – № 57/2021. – PP. 66-67.

4 Сиротина Л. К. Методологические подходы и целеполагание разработки показателей производственной технологичности заказов и процессов // Омский научный вестник. – 2022. – №3(183). – С. 37-41.

- 5 Бондарь А.В. Качество и надежность // М: Машиностроение. 2007. – 326 с.
- 6 Бондарь, А. В. Разработка интегрированной системы управления качеством наукоемких изделий [Текст]: автореферат дис ... докт. техн. наук : 05.02.23, 05.02.08 /А. В. Бондарь. – Брянск, 2008. – 34 с.
- 7 Бондарь А. В. Управление качеством на этапах жизненного цикла изделия // Нетрадиционные методы обработки: Сб. научн. тр., вып. 8, Ч.1. М : Машиностроение, 2007. – С. 22-29.
- 8 Смоленцев, В. П., Оработка конструкций электрохимического оборудования на технологичность / В. П. Смоленцев, А. И. Часовских // Проектирование технологических машин. Сб. науч. тр., вып. 5. М: СТАНКИН, 1997. – С. 77-82.
- 9 Маренков, Н. Л. Управление обеспечением качества и конкурентоспособности продукции / Н. Л. Маренков, В. П. Мельников, В. П. Смоленцев, А. Г. Схиртладзе // М. : Национальный институт бизнеса, Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 512 с.
- 10 Смоленцев Е. В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки // М: Машиностроение, 2005. – 511 с.
- 11 Смоленцев, В. П. Технология электроэрозионной и электрохимической обработки / В. П. Смоленцев, А. И. Болдырев // Воронеж : Изд. ВГТУ, 2005 – 180 с.
- 12 Справочник технолога / Под ред. А. Г. Сулова // М : Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
- 13 Мельников, В. П. Основы обеспечения качества / В. П. Мельников, В. П. Смоленцев // М : Буги-Веди, 2016. – 528 с.
- 14 Смоленцев, В. П. Управление качеством наукоемких изделий по результатам испытаний / В. П. Смоленцев, С. В. Сафонов, Б. И. Омигов // Вестник БГТУ, 2019. – №1. – С. 20-28.

References

- 1 Bokova, L. G. Improving the assessment of production manufacturability in the planning system of multi-product technological processes [Text]: author's abstract. dis. ... candidate of technical sciences: 05.02.08 / L. G. Bokova, Saratov State Technical University. – Saratov, 2013 – 20 p.
- 2 Irzaev G. Kh. Expert methods for managing the manufacturability of industrial products. – Moscow: Infra-Engineering, 2010. – 192 p.
- 3 Rastegaev E. Ensuring Production Adaptability In The Conditions Of Serial Production // Norwegian Journal of Development of the International Science. – University of Oslo, Norway. – No. 57/2021. – PP. 66-67.
- 4 Siroтина L.K. Methodological approaches and goal-setting for the development of indicators of production technology of orders and processes // Omsk Scientific Bulletin. - 2022. - No. 3 (183). - P. 37-41.
- 5 Bondar A.V. Quality and reliability // М: Mechanical Engineering. 2007. - 326 p.
- 6 Bondar, A.V. Development of an integrated quality management system for science-intensive products [Text]: abstract of diss ... doctor of technical sciences: 05.02.23, 05.02.08 / A.V. Bondar. - Bryansk, 2008. - 34 p.
- 7 Bondar A. V. Quality management at stages of the product life cycle // Non-traditional processing methods: Coll. scientific works, issue 8, Part 1. Moscow: Mechanical Engineering, 2007. – P. 22-29.
- 8 Smolentsev, V. P., Development of electrochemical equipment designs for manufacturability / V. P. Smolentsev, A. I. Chasovskikh // Design of technological machines. Coll. scientific works, issue 5. Moscow: STANKIN, 1997. – P. 77-82.
- 9 Marenkov, N. L. Quality Assurance and Competitiveness Management of Products / N. L. Marenkov, V. P. Melnikov, V. P. Smolentsev, A. G. Skhirtladze // М.: National Institute of Business, Rostov n / D: Phoenix, 2004. - 512 p.
- 10 Smolentsev, E. V. Design of Electrical and Combined Processing Methods // М: Mechanical Engineering, 2005. - 511 p.
- 11 Smolentsev, V. P. Technology of Electrical Discharge and Electrochemical Processing / V. P. Smolentsev, A. I. Boldyrev // Voronezh: VSTU Publishing House, 2005 - 180 p.
- 12 Technologist's Handbook / Ed. A. G. Suslova // М: Innovative Mechanical Engineering, 2019. - 800 p.
- 13 Melnikov, V. P. Fundamentals of Quality Assurance / V. P. Melnikov, V. P. Smolentsev // М: Bugi-Vedi, 2016. - 528 p.
- 14 Smolentsev, V. P. Quality Management of Science-Intensive Products Based on Test Results / V. P. Smolentsev, S. V. Safonov, B. I. Omigov // Bulletin of BSTU, 2019. - No. 1. - P. 20-28.

DOI: 10.34220/2311-8873-2025-40-45



УДК 621.7.04

UDC 621.7.04

2.5.6 – технология машиностроения

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ ПЕЧАТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СУВЕНИРНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТОВ ФИРМЕННОГО СТИЛЯ

THE INFLUENCE OF LASER PRINTING TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF SOUVENIR PRODUCTS ON THE PROCESS OF DEVELOPING CORPORATE IDENTITY ELEMENTS

✉¹ **Колосова Юлия Алексеевна**,
магистрант кафедры графики, конструирования и промышленного дизайна, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, e-mail: jjuli.key@gmail.com

✉¹ **Kolosova Yulia Alekseevna**,
master's student at the department of graphics, construction and industrial design, Voronezh state technical university, Voronezh, e-mail: jjuli.key@gmail.com

Левин Дмитрий Юрьевич,
старший преподаватель кафедры графики, конструирования и промышленного дизайна, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

Levin Dmitry Yurievich,
senior lecturer at the department of graphics, construction and industrial design, Voronezh state technical university, Voronezh.

Болдырев Александр Александрович,
к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

Boldyrev Alexander Alexandrovich,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of mechanical engineering technology, Voronezh state technical university, Voronezh.

Рябинина Ольга Алексеевна,
аспирант кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж.

Ryabinina Olga Alekseevna,
post-graduate student of the department of mechanical engineering technology, Voronezh state technical university, Voronezh.

Аннотация. Научная статья рассматривает возможности и аспекты влияния технологий и способов производства сувенирной продукции на процесс работы над дизайном айдентики предприятия или элементов его фирменного стиля. В работе рассмотрен пример изготовления сувенирной продукции методом лазерной резки, проанализированы особенности разработки айдентики с учетом данной технологии производства.

Annotation. The research paper considers the possibilities and aspects of the influence of technologies and methods of production of souvenir products on the process of working on the design of the enterprise identity or elements of its corporate identity. The paper considers an example of souvenir production by laser cutting method, analyzes the features of the development of identity design taking into account this production technology.

Ключевые слова: ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА, ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СКВОЗНАЯ РЕЗКА, ФИРМЕННЫЙ СТИЛЬ, БРЕНД, АЙДЕНТИКА, ЛОГОТИП.

Keywords: MANUFACTURING PROCESS, LASER BEAM CUTTING, LASER PROCESSING, PERFORATED CUTTING, IDENTITY, BRAND, LOGOTYPE, EMBLEM.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Активное развитие технологий и способов производства сувенирной продукции накладывает свой отпечаток на характерные особенности форм, подходящих к печати. Большое количество видов работы с тем или иным материалом и способом его обработки требуют определенных характеристик к печатаемому или гравированному логотипу или элементу фирменного стиля. Данное исследование направлено на изучение влияния современных методов и технологий производства сувенирной продукции на формирование образного представления бренда.

Разработка фирменного стиля представляет собой создание единого визуального образа компании с помощью индивидуальных стилизованных констант (айдентики): логотипа, графики, образов, иллюстраций, типографики, цветов и т.п. [1].

В данной статье будет рассмотрена разработка именно основного элемента фирменного стиля – логотипа предприятия, с условием дальнейшего его применения для производства сувенирной продукции с помощью технологии лазерной резки. Перед началом работы над созданием логотипа было сформулировано несколько важных факторов, которые необходимо учитывать в процессе разработки: сохранение узнаваемости бренда после редизайна, возможность для дальнейшей разработки айдентики, а также способность логотипа к определенным способам печати или гравировки.

Многообразие способов производства сувенирной продукции создает определенные условия и требования к самим формам, которые предполагается воспроизвести на том или ином физическом носителе [1, 2].

Данное исследование направлено на определение степени влияния способа печати айдентики сувенирной продукции на процесс разработки элементов фирменного стиля на примере сквозной резки логотипа на твердой поверхности.

2 Материалы и методы

Предметом исследования является процесс формирования элементов фирменного стиля в зависимости от предполагаемых способов производства сувенирной продукции. Влияние вида печати отмечается важным аспектом при разработке логотипа по той причине, что различные методы изготовления разных фирменных изделий могут создавать ограничения по использованию и сочетанию форм и цветов внутри разрабатываемой концепции.

Чтобы понять удовлетворяет ли созданная форма логотипа требованиям к производству продукции методом сквозной резки, необходимо учитывать не только комбинацию форм и отсутствие цветов при такой печати, но также важно и адаптировать начертание созданного логотипа к наиболее безопасной реализации такого изделия.

«Безопасной» в данном контексте называется резка разработанной формы, которая способна сохранять читаемость, иметь достаточно прочные и устойчивые формы (без лишних и висящих, тонких элементов) и при этом должна вызывать положительные впечатления у пользователя [2, 3].

Безусловно, первые наработки логотипа могут не соответствовать требованиям к такому виду печати, но после того, как были определены наиболее удачные варианты эскизов, был начат этап адаптации созданной формы под предполагаемую сквозную резку на твердой поверхности. Данный этап разработки включает в себя и возможность к тестовому изготовлению изделия, содержащего вырезанную насквозь форму ранее разработанного логотипа [3, 4].

Особенности такого производства сувенирной продукции заключаются в том, чтобы исключить из печатаемой формы все «замкнутые» элементы, которые требуется сделать незамкнутыми. Например, по такому принципу работают трафаретные шрифты – любую из таких букв можно как напечатать чернилами, так и «выдавить» из любой поверхности без потери читаемости. Аналогичными свойствами должна обладать и текущая разработка логотипа. Бо-

лее точно определить соответствие требованиям помогает именно пробное изготовление продукта со сквозным исполнением элемента фирменного стиля (более широкое понимание даст многократная и разномасштабная проверка такого производства) [5-7].

На рис. 1* показан пример сквозной резки неудачной адаптации логотипа компании ООО "БОКСТОР" к такой печати: содержание слишком тонких линий создаст пониженную устойчивость, а в сочетании с крупными пустыми отверстиями вызовет неуверенную эстетику, особенно если такая резка осуществится, например на картоне. Наименование BOXSTORE является зарегистрированным и защищенным авторскими правами элементом фирменного стиля компании ООО "БОКСТОР".



Рисунок 1 – Неудачная адаптация логотипа к сквозной резке на твердой поверхности

Пробное производство сувенирной продукции помогает отмечать несколько основных факторов, влияющих на способность к реализации задуманной идеи способом сквозной резки. Из таких факторов можно выделить следующие:

- масштабность графического объекта – фактор, определяющий наименьший размер, который можно использовать при таком производстве. Лучше всего определить 1-2 варианта утвержденных размеров для сквозной резки;

- форма вырезанной поверхности – фактор анализа изготовленного изделия, показывающий, не будет ли созданное отверстие создавать «опасные» участки, которые могут легко отломиться;

- предельная контрастность форм – фактор соотношения самых широких форм к самым узким, контролирующей прочность тонких линий, их возможность долго и безупречно выдерживать большие вырезанные площадки;

- скругления – фактор сопротивления к быстрому разрушению при сквозной резке на твердых поверхностях острых углов, способных к быстрому разрушению.

В зависимости от сложности разработанной формы логотипа или другого элемента фирменного стиля, требующего наличия возможности к сквозной резке, могут меняться ключевые критерии проверки на качество такого вида изготовления сувенирной продукции. Например, слишком длинные названия или графические объекты будет нецелесообразно внедрять в такой способ печати, и в таких случаях будет лучше создать альтернативный упрощенный вариант логотипа [5-8].

В рамках данного исследования, в процессе выполнения этапа адаптации логотипа к условиям сквозной резки на твердой поверхности, были рассмотрены порядка шести вариантов эскизов, каждый из которых приобрел по два новых способа начертания, подходящих под рассматриваемый вид печати. К наиболее удачному примеру такой адаптации логотипа можно отнести эскиз, показанный на рис. 2.

На данном примере продемонстрировано сочетание разных форм внутри логотипа с применением единой толщины, что создает более приятную для пользователя читаемость. Адаптация логотипа под трафаретное начертание привносит свои коррективы в реализацию концепции, но не меняет ее критически.

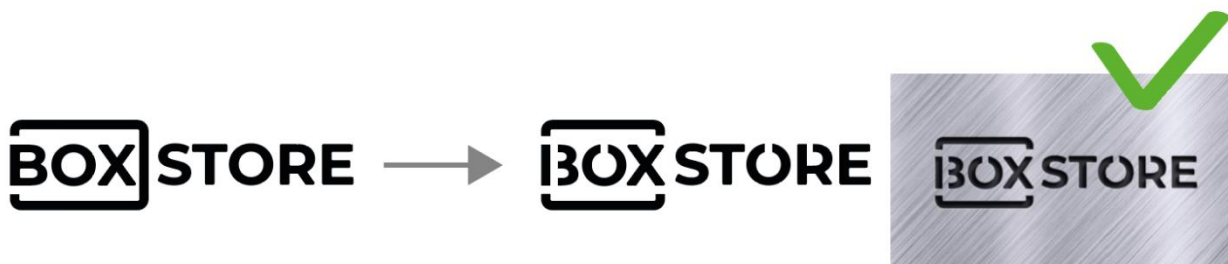


Рисунок 2 – Удачная адаптация логотипа в условиях сквозной резки

Деформации логотипа, произведенные в процессе его подготовки к сквозной резке получились более аккуратными, потому что изначальная форма рассматриваемого объекта не была перегружена и имела одинаковую толщину у большинства элементов. Данный факт можно вынести как доказательство того, что изначальная направленность разработки логотипа (и/или элементов фирменного стиля) напрямую влияет на ее соответствие с техническими требованиями при производстве сувенирной продукции определенным методом печати [6].

3 Результаты исследований

Сравнение тестовых вариантов сувенирной продукции демонстрирует соответствующие результаты анализа: начиная с этапа эскизирования при разработке логотипа важно понимать то, каким способом или способами он будет переноситься на физические носители. Ввиду того, что нечасто встречающиеся способы печати, как, например, сквозная резка, имеют серьезные требования к вырезаемой форме, то в процессе разработки такие условия привносят вполне ощутимые изменения. Для того, чтобы данные деформации не портили всю задуманную концепцию, необходимо уже на первичных этапах поиска идей учитывать способы к их дальнейшим реализациям при печати [8-10].

Таким образом, разработка элементов фирменного стиля изначально будет исключать слишком нагруженные, острые, тонкие и нависающие элементы, создающие чрезмерно нестабильную конструкцию общей формы, что необходимо при учете технологии производства дальнейших изделий с данными элементами.

Проведенное исследование поможет в будущих работах над дизайном элементов айдентики рассматривать концепцию наработок в условиях предполагаемых способов и технологий изготовления сувенирной продукции.

4 Обсуждение и заключение

Имея точное определение по технологии и способу производства сувенирной продукции, процесс работы над разработкой фирменного стиля (или его отдельных элементов) будет принимать определенный алгоритм, изначально включающий условия и требования технологии изготовления, необходимые к учету применения результата разработки при производстве физических носителей айдентики.

Каждый этап такого производства предусматривает анализ предложенных идей и форм на соответствие их к требованиям будущей печати или гравировки на физических носителях. Такой подход не просто изменит порядок действий, но и избавит дизайнера от выполнения лишней или двойной работы, позволит учесть технологические аспекты изготовления продукции. Это касается не только рассмотренной сквозной резки на твердых поверхностях, но также и многих других возможных механических способах нанесения на материалы.

Список литературы

- 1 Маламед, К. Тонкости визуального дизайна для профессионалов / Конни Маламед. – СПб.: Питер, 2018. – 336 с.
- 2 Трофимов, А.Н. Фирменный стиль и корпоративный дизайн: учебник / А. Н. Трофимов. – Москва: КНОРУС, 2021. – 368 с.
- 3 Рэнд, П. Искусство дизайнера / Пол Рэнд. – Издательство Студии Артемия Лебедева, 2017. – 288 с.
- 4 Рябинина, О. А. Инфографика как метод эффективного представления информации в маркетинге / О. А. Рябинина, А. Ю. Соловьева, М. Е. Подшибякин // Управление развитием социально-экономических систем: глобализация, предпринимательство, устойчивый экономический рост : Материалы XXIV Международной научной конференции молодых учёных и студентов, Донецк, 07 декабря 2023 года. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2023. – С. 193-196.
- 5 Суворов, А. П. Использование методов поверхностного моделирования в условиях промышленного производства / А. П. Суворов, Д. Ю. Левин, С. Д. Кандыба // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2023. – № 2(45). – С. 16-19.
- 6 Левин, Д. Ю. Анализ данных коммуникации с инженерами промышленных предприятий как средство обеспечения качества внедрения инноваций в области проектирования / Д. Ю. Левин, А. А. Болдырев, А. В. Норман // Проблемы социальных и гуманитарных наук. – 2023. – № 1(34). – С. 151-156.
- 7 Кондратенко, В. С. Особенности сквозной лазерной резки стеклянных пластин с функциональным покрытием / В. С. Кондратенко, В. Е. Борисовский, А. С. Наумов // Российская научно-техническая конференция с международным участием. Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике: Сборник докладов конференции, Москва, 11–12 апреля 2019 года. Том 2. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2019. – С. 16-20.
- 8 Водин, Д. В. Применение лазерной маркировки и гравировки как перспективный метод в современном промышленном производстве / Д. В. Водин // Современное научное знание: теория, методология, практика : Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции: В 2-х частях, Смоленск, 31 января 2018 года. Том Часть 2. – Смоленск: Общество с ограниченной ответственностью "НОВАЛЕНСО", 2018. – С. 28-30.
- 9 Филипов, А. И. Лазерная гравировка металлической поверхности / А. И. Филипов // Молодежь и наука: шаг к успеху : сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых : в 5 т., Курск, 21–22 марта 2019 года. Том 5. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2019. – С. 120-122.
- 10 Столяров, В. Я. Оценка эффективности применения контурной обработки к изображениям с лазерной гравировкой / В. Я. Столяров, В. А. Тихомиров // Актуальные научные исследования в современном мире: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, София, 24 декабря 2018 года / под общей редакцией А.И. Вострецова. – София: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2018. – С. 81-85.

References

- 1 Malamed K. The subtleties of visual design for professionals / Connie Malamed. – St. Petersburg: Piter, 2018. – 336 p-p.
- 2 Trofimov, A.N. Corporate style and corporate design: textbook / A.N. Trofimov. – Moscow: KNORUS, 2021. – 368 p-p.
- 3 Rand. P. The Art of the Designer / Paul Rand. - Artemy Lebedev Studio Publishing House. 2017. – 288 p-p.
- 4 Ryabinina, O.A. Infographics as a method of effective presentation of information in marketing / O.A. Ryabinina, A.Yu. Solovieva, M.E. Podshibyakin // Management of socio-economic systems development: globalization, entrepreneurship, sustainable economic growth : Proceedings of the XXIV International Scientific Conference of Young Scientists and Students, Donetsk, December 07, 2023. - Donetsk: Donetsk National University, 2023, pp. 193-196.
- 5 Suvorov A.P. Using surface modeling methods in the conditions of industrial production / A.P. Suvorov, D.Yu. Levin, S.D. Kandyba // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. – 2023. – № 2(45). – pp. 16-19.
- 6 Levin, D. Yu. Data analysis of communication with engineers of industrial enterprises as a means of ensuring the quality of innovation implementation in the field of design / D. Yu. Levin, A. A. Boldyrev, A. V. Norman // Problems of Social and Human Sciences. – 2023. – № 1(34). – pp. 151-156.

7 Kondratenko, V. S. Features of through laser cutting of glass plates with functional coating / V. S. Kondratenko, V. E. Borisovsky, A. S. Naumov // Russian Scientific and Technical Conference with International Participation. Informatics and technologies. Innovative technologies in industry and informatics : Collection of conference reports, Moscow, April 11-12, 2019. Volume 2. - Moscow: MIREA - Russian Technological University, 2019. – pp. 16-20.

8 Vodin, D. V. Application of laser marking and engraving as a promising method in modern industrial production / D. V. Vodin // Modern scientific knowledge: theory, methodology, practice : Collection of scientific articles on the materials of the V International Scientific and Practical Conference: In 2 parts, Smolensk, January 31, 2018. Volume Part 2. - Smolensk: Limited Liability Company “NOVALENZO”, 2018. - pp. 28-30.

9 Filipov, A. I. Laser engraving of the metal surface / A. I. Filipov // Youth and science: a step to success : a collection of scientific articles of the 3rd All-Russian scientific conference of promising developments of young scientists : in 5 vol., Kursk, March 21-22, 2019. Volume 5. - Kursk: Closed Joint-Stock Company “Universitetskaya kniga”, 2019. – pp. 120-122.

10 Stolyarov, V. Y. Evaluation of the effectiveness of applying contour processing to images with laser engraving / V. Y. Stolyarov, V. A. Tikhomirov // Actual scientific research in the modern world : Proceedings of the International (extramural) scientific-practical conference, Sofia, December 24, 2018 / under the general editorship of A. I. Vostretsov. - Sofia: Scientific and Publishing Center “World of Science” (IP Vostretsov Alexander Ilyich), 2018. – pp. 81-85.

© Колосова Ю. А., Левин Д. Ю., Болдырев А. А., Рябина О. А., 2025



2.5.6 – технология машиностроения

**ТОЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО
НАКАТЫВАЕМЫХ РЕЗЬБ
ГОЛОВКАМИ С ПРОДОЛЬНОЙ
ПОДАЧЕЙ**

**ACCURACY AND QUALITY
OF ROLLING THREADS
WITH LONGITUDINAL
FEED HEADS**

✉¹ **Болдырев Александр Александрович**,
к.т.н., доцент кафедры технологии машино-
строения, Воронежский государственный
технический университет, г. Воронеж,
e-mail: alexboldyrev@yandex.ru

✉¹ **Boldyrev Alexander Aleksandrovich**,
candidate of technical sciences, associate professor of
the department of mechanical engineering technol-
ogy, Voronezh state technical university, Voronezh,
e-mail: alexboldyrev@yandex.com

Григораш Владимир Васильевич,
к.т.н., доцент кафедры металлических и де-
ревянных конструкций, Воронежский госу-
дарственный технический университет,
г. Воронеж.

Grigorash Vladimir Vasilievich,
candidate of technical sciences, associate professor of
the department of metal and wooden structures,
Voronezh state technical university, Voronezh.

Болдырев Александр Иванович,
д.т.н., профессор кафедры технологии маши-
ностроения, Воронежский государственный
технический университет, г. Воронеж.

Boldyrev Alexander Ivanovich,
doctor of technical sciences, professor of the de-
partment of mechanical engineering technology,
Voronezh state technical university, Voronezh.

Падурец Анна Александровна,
магистрант кафедры технологии машиностро-
ения, Воронежский государственный техниче-
ский университет, г. Воронеж.

Padurets Anna Alexandrovna,
master's student of the department of mechanical en-
gineering technology, Voronezh state technical uni-
versity, Voronezh.

Болдырева Дарья Валерьевна,
магистрант кафедры технологии машиностро-
ения, Воронежский государственный техниче-
ский университет, г. Воронеж.

Boldyreva Darya Valerievna,
master's student of the department of mechanical en-
gineering technology, Voronezh state technical uni-
versity, Voronezh.

Аннотация. Статья посвящена изучению во-
просов производительности, точности и каче-
ства поверхностей резьб, накатываемых роли-
ками с кольцевыми витками при подаче вдоль
оси детали. Установлены погрешности, которые
необходимо учитывать путем внесения попра-
вок на размеры профиля и шага накатных роли-
ков, регламентации биений и т.д. Накатывание
изменяет структуру и создает упрочняющий по-
верхностный слой металлу, образующего про-
филь резьбы. Универсальность процесса позво-
ляет данный способ рекомендовать для накатыва-
ния как наружных, так и внутренних резьб.

Annotation. The article is devoted to studying the
issues of productivity, accuracy and quality of
thread surfaces knurled by rollers with annular
turns when fed along the axis of the part. Errors
are established that must be taken into account by
introducing corrections for the profile dimensions
and pitch of the knurling rollers, regulating the
beating, etc. Rolling changes the structure and cre-
ates a hardening surface layer of the metal that
forms the thread profile. The versatility of the pro-
cess allows the method to be recommended for
rolling both external and internal threads.

Ключевые слова: НАРУЖНЫЕ И ВНУТРЕННИЕ РЕЗЬБЫ, НАКАТЫВАНИЕ РЕЗЬБ, ТОЧНОСТЬ РЕЗЬБЫ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗЬБЫ.

Keywords: EXTERNAL AND INTERNAL THREADS, THREAD ROLLING, THREAD ACCURACY, PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE THREAD SURFACE.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В связи с решением задачи повышения производительности труда и автоматизации производства [1] стали широко внедряться в технологии изготовления деталей машин процессы обработки металлов холодным пластическим деформированием [2-7].

При изготовлении резьб такие методы обработки применяются достаточно давно. Наиболее распространено накатывание резьб плоскими плашками и двумя круглыми роликами с радиальной подачей [8]. В действующее производство внедрен и ряд других способов накатывания: выпуклой и вогнутой плашками, вместо плоских плашек, специальными роликами некруглой формы или разного диаметра и т.п. Все такие процессы обычно применяются для получения наружных резьб ограниченной длины [9].

Для широкого распространения высокопроизводительных и экономичных методов при изготовлении большой номенклатуры деталей с резьбой любой длины необходимо применять накатывание с продольной подачей. Продольная подача при накатывании может осуществляться как при параллельном, так и при перекрещивающемся расположении осей накатных роликов и заготовки. Накатывание с продольной подачей весьма актуально для изготовления резьб в условиях мелкосерийного производства.

Анализ технологических возможностей накатывания резьб с продольной подачей показывает следующее.

При накатывании с радиальной подачей «челночное» перемещение заготовки является одной из основных причин, вызывающих неполадки процесса и поломку станков. Однако на этих станках, применяя накатные ролики соответствующей конструкции можно получать резьбы неограниченной длины при осевой подаче заготовки в одном направлении [10].

Величина продольной подачи за один оборот заготовки при накатывании с сохранением параллельных осей накатных роликов и заготовки составляет лишь часть шага резьбы.

Если установить накатные ролики по отношению к оси накатываемой заготовки под углом подъема витков резьбы, а профильные витки на роликах выполнить кольцевыми, то при вращении роликов их витки, обкатывающие заготовку, будут перемещаться по винтовой линии, образуя резьбу требуемого шага [11].

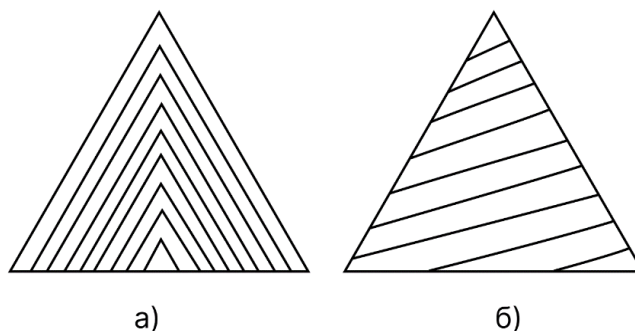
Так как на каждый оборот заготовки подача вдоль оси будет равна шагу резьбы, то производительность накатывания возрастает в 5-7 раз. При таком способе накатки резьбы различных диаметров одного и того же шага можно накатывать, не сменяя инструмента, причем в большинстве случаев точность резьбы получается в пределах 7 качества, а производительность по сравнению с нарезанием резьбы резьбонарезными головками оказывается в 2-3 раза большей [12].

Для получения наружных резьб этим способом применяются двух- или трехроликовые станки с наклонными шпинделями (для создания угла скрещивания осей) Наибольшая практическая ценность данного способа накатывания резьб заключается в том, что его можно осуществить как на специальных накатных станках, так и имеющихся в механических цехах предприятий универсальных станках – токарных, револьверных, сверлильных, модернизированных болто- и резьбонарезных, а также на автоматах и полуавтоматах, в специальных станках и в автоматических линиях. Для этого их необходимо только оснастить роликовыми резьбонакатными головками вращающегося или стационарного (не вращающегося) типа [13].

Необходимо отметить, что накатывание наружных и внутренних резьб роликовыми головками с продольной подачей можно широко использовать при построении технологических процессов по принципу концентрации операций в сочетании с самыми различными операциями или переходами обработки резанием.

2 Материалы и методы

Выполнение требуемой точности накатываемых резьб должно учитывать то, что в головках для накатывания резьб наклон осей роликов обеспечивает вращение их в плоскости угла подъема накатываемой резьбы. Ролики комплекта устанавливаются в головке с осевым сдвигом относительно друг друга на одну треть шага накатываемой резьбы [14]. Рабочий профиль накатного ролика имеет формообразующую (два-четыре витка на роликах головок и шесть-восемь – на роликах накатных станков) и калибрующую части (не менее четырех витков). Для шагов от 1 мм и выше в целях снижения усилия накатывания и получения большей точности шага рекомендуется применять накатные ролики с витками полного профиля на формообразующей части. Схема работы таких роликов показана на рис. 1, а. Для мелких шагов (менее 0,8 мм) в отдельных случаях можно допустить применение более простых роликов с плоскорезанными формообразующими витками, работающими по схеме, приведенной на рис. 1, б. При небольшом шаге резьбы и точности не выше 7Н/8g (Болт/Гайка) недостатки схемы (рис. 1, б) выражены не столь резко, как при шагах резьбы 1-2 мм и более, а шлифование мелкого профиля вызывает некоторые трудности. Поэтому можно допустить изготовление формообразующей части роликов с мелким шагом путем круглого шлифования на конус вместо резьбошлифования, которое требуется для работы роликов по схеме, приведенной на рис. 1, а.



а – при полном профиле формирующих витков (получен на резьбошлифовальном станке);
б – при плоскорезанном профиле (получен на круглошлифовальном станке)

Рисунок 1 – Схемы распределения припуска под накатывание при различных конструкциях формообразующей части роликов

Наличие угла скрещивания обуславливает появление специфических погрешностей в размерах среднего диаметра нескольких последних витков накатываемой резьбы, к ним относится невозможность получения резьбы с профилем, идеально прямолинейным в осевом сечении. Такая погрешность является следствием неточности самого метода формообразования, при котором винтовая поверхность резьбы образуется инструментом с кольцевыми витками, имеющими постоянный угол наклона. Практически эта погрешность незначительна, в особенности для резьб с шагом до 3 мм. Гораздо большее значение имеет погрешность по среднему диаметру. При перекрещивающихся осях накатного ролика и заготовки только один (копирующий) виток калибрующей части ролика (на ось симметрии которого проецируется точка скрещивания осей) профилирует резьбу в диаметральной плоскости. Другие калибрующие витки ролика обкатываются вокруг заготовки по несколько отличным диаметрам. Таким образом, на конечном отрезке резьбы средняя линия профиля представляет собой не прямую

линию, а участок однополостной гиперболы. Через последние несколько ниток накатываемой резьбы копирующий виток вообще пройти не может, если не считать случая накатывания резьбы «на проход» на гладких заготовках [12].

Увеличенный средний диаметр резьбы можно рассчитывать по следующей зависимости:

$$d_{\text{cp}}^* = d_{\text{cp}} \left(1 + \frac{B^2 \operatorname{tg}^2 \beta}{d_{\text{cp}}^2} \right),$$

где d_{cp} – средний диаметр резьбы мм; B – длина линии контакта, мм; β – угол скрещивания осей накатного ролика и заготовки.

Расчетом установлено, что погрешность может достигать 37 мкм при диаметре резьбы 10 мм и угле подъема $3^\circ 30'$. Если рассчитанное таким образом увеличение среднего диаметра последних витков резьбы лежит в пределах допуска, то рассматриваемую погрешность можно использовать в целях повышения надежности затяжки (например, резьбы шпилек), не прибегая к достижению более высоких качеств точности резьбы.

При накатывании резьб роликами с кольцевыми витками необходимо (за исключением накатывания резьбы «на проход» при применении роликовых станков) оценивать эту погрешность, т.к. она значительно возрастает при углах подъема резьбы свыше $3-4^\circ$. Если погрешность превышает допустимое значение, то повысить точность резьбы можно двумя путями [15]:

- применять специальные ролики, кольцевые витки которых расположены на гиперболическом среднем диаметре, и тем самым компенсировать рассматриваемую погрешность;
- перейти на накатывание синхронно вращающимися роликами, установленными параллельно оси и имеющими не кольцевые, а винтовые витки.

В первом случае существенно усложняется конструкция ролика, во втором – резко падает производительность накатки до 4-5 раз.

При скрещивании осей, вынесенном назад за пределы ролика, участок с неполным профилем в конце резьбы увеличивается. Поэтому положение этого скрещивания следует оговаривать в чертежах допуском порядка $\pm 0,3$ мм.

На основании измерения пробной партии необходимо вносить в размеры инструмента поправки на шаг резьбы и угол профиля (отдельно на правую и на левую половину).

Отклонение угла установки роликов от расчетного значения влияет на величину искажения шага и на знак погрешности [16]. Изменяя разность в углах, можно перейти от растяжки шага к укорочению его. Так, при накатывании резьб на деталях из стали 40X (ГОСТ 4543-2016) при соблюдении правильного угла установки роликов можно получать увеличение (растяжку) шага в пределах 5 мкм для двух соседних витков, а отклонение указанного угла ($+ 20^\circ$) приводит к укорочению шага при накатывании в среднем на 5 мкм. Рассеивание погрешностей установочного размера роликов при многократном закрывании головки находилось в пределах 23 мкм (среднее квадратичное отклонение размера было около 5 мкм).

В результате исследования действия этих и ряда других факторов установлено, что профиль накатанной резьбы формируется не просто как отпечаток рабочего профиля инструмента, а получает погрешности, которые необходимо учитывать путем внесения поправок в размеры профиля и шага накатных роликов, регламентации биений т.д.

На АО «Конструкторское бюро химавтоматики» (г. Воронеж) были выполнены экспериментальные исследования накатывания резьбы М16 на скоростях 19 м/мин и 38 м/мин. Жесткость резьбонакатной головки раскрывающегося типа составляла 47 кН/мм. Средний диаметр резьбы измерялся по методу трех проволочек, остальные элементы профиля измерялись по стандартной методике на большом инструментальном микроскопе БМИ.

3 Результаты исследований

Установлено, что допуск на диаметр при накатывании с продольной подачей является одним из главных факторов, обуславливающих точность резьбы по среднему диаметру. Результаты измерения заготовок и накатных деталей (партиями по 50 штук) показали, что благодаря возможности свободного течения металла вдоль оси при накатывании с продольной подачей обеспечивается более выгодное соотношение между точностью заготовок и точностью полученной резьбы, чем при других способах накатывания. При получении резьбы М16 степени точности 8g с плоскими плашками диаметры заготовок колеблются в пределах 0,1 мм; накатывание с продольной подачей на таких заготовках позволило получать резьбы степени точности 6g по ГОСТ 16093-2004.

Из экспериментальных данных видно, что повышение скоростей накатывания роликовыми головками является эффективным средством повышения не только производительности и точности процесса, но также и стойкости инструмента. Так, при повышении скорости накатывания на изделиях из стали 40X резьбы М16×2 с 25 до 38 м/мин сила накатывания уменьшается с 14,3 кН до 12,3 кН, что благоприятно сказывается на стойкости накатных роликов.

В применявшихся при экспериментах накатных роликах номинальный шаг резьбы поддерживался с допуском ± 3 мкм. На резьбе растяжка шага доходила (для сталей марок 45 и 40X) до 20-28 мкм на длине 10 шагов; средняя величина растяжки шага составляла 5 мкм для соседних витков и 10 мкм на длине 10 шагов. Следовательно, эту величину можно учесть при изготовлении роликов в виде поправки на шаг. Для других накатываемых материалов вычитаемая поправка шага роликов может отличаться от полученной при данных экспериментах.

Рассеивание значений половин угла профиля полученной резьбы для правой и левой половин неодинаково. Так для той половины профиля, на которую действует приложенная осевая сила подачи, получено рассеивание величин угла в пределах $1^{\circ}30'$ (в большинстве случаев 1°), а для противоположной половины угла профиля рассеивание не превышало $50'$. Это объясняется нестабильностью приложенной осевой силы. Для повышения точности угла профиля следует применять установку головок на легких выдвигных скалках и отказываться от тяжелых суппортов, которые перемещаются от руки после того, как формирующие витки роликов захватили заготовку. Вертикальные суппорты следует уравнивать.

Левую сторону угла профиля рабочей части накатных роликов следует выполнять на $20'$ меньше половины номинального угла профиля резьбы, а величину правой половины угла профиля ролика увеличивать на $40-60'$.

Хотя в экспериментальные комплекты роликов указанные поправки на значения половин угла профиля не вносились (так как их значения не были еще известны) при проверке резьбовыми кольцами ПР и НЕ степени точности 6g оказались годными все партии деталей, для которых диаметры заготовок были выдержаны с допуском, равным половине допуска на средний диаметр резьбы.

Биение зажимного патрона или перекося оси заготовки при зажиме вызывает соответствующую погрешность в положении резьбовой шейки относительно базы детали (эксцентricность резьбы). Однако, если при нарезании резьбы перекося оси приводит к одностороннему срезанию профиля, то при накатывании с подачей вдоль оси резьба получает полный профиль. Для достижения соосности следует при накатывании головками устанавливать детали в центрах при соответствующей модернизации станка, например, токарного [17]. Овальность заготовок после накатывания головкой резко исправляется. Так, при накатывании заготовок с овальностью 0,08-0,1 мм получена резьба, у которой овальность среднего диаметра была в основном 0,02-0,04 мм (рис. 2).

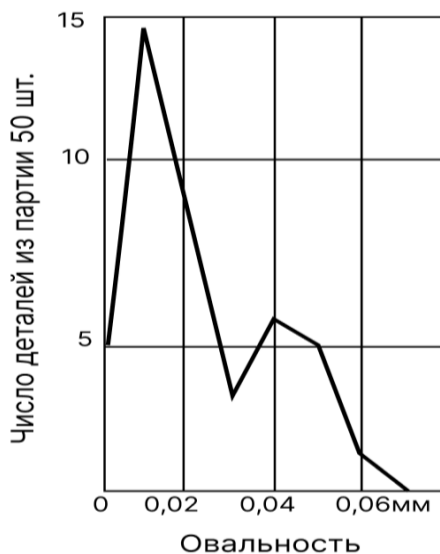


Рисунок 2 – Распределение погрешностей резьбы (овальность по среднему диаметру) для партии деталей с наружной резьбой М16×2, накатанной головкой

В связи с тем, что прочность резьбовых деталей и, в особенности, их циклическая прочность в значительной степени зависит от шероховатости поверхности, твердости и структуры поверхностных слоев. Изучение этих характеристик для накатываемых резьб, несомненно, представляет собой одну из актуальных задач.

По шероховатости поверхности резьбы детали не отличаются от получаемых при накатывании двумя роликами с радиальной подачей. Для углеродистых, хромистых и других сталей изменение скорости накатывания в указанных выше пределах не влияло на шероховатость профиля.

Особый интерес, однако, представляют вопросы, связанные не с изучением шероховатости, а с состоянием поверхностного слоя и структуры профиля, поскольку эти факторы оказывают основное влияние на эксплуатационные свойства полученной резьбы.

Накатывание вызывает значительное изменение структуры металла, образующего профиль резьбы. Оно выражается сильным деформированием зерен металла и вытягиванием их в направлении контура профиля резьбы. В результате поверхностный слой накатанной резьбы обладает свойствами, резко отличными от свойств исходного металла.

Микротвердость профиля резьбы в диаметральной сечении накатанных деталей измерялись с интервалами 0,05-0,1 мм в трех основных направлениях до получения повторяющихся цифр твердости, характеризующих исходное состояние металла. Наибольшее упрочнение (до 60 %) наблюдалось во впадинах профиля, а по вершинам и боковым сторонам оно сравнительно невелико. Для впадины первого витка резьбы упрочнение меньше, чем для последующих витков, вследствие интенсивного течения этой части припуска в сторону свободного торца.

Таким образом, накатывание с продольной подачей характеризуется в основном упрочнением впадин при отсутствии значительного (по сравнению с получаемым при радиальной подаче) наклепа боковых сторон профиля. Впадина профиля резьбы является концентратором напряжений и ее упрочнение приводит к повышению циклической прочности [18]. Но повышение циклической прочности накатанных резьб, имеющих определенную оптимальную глубину наклепа и степень упрочнения, характерно только для работы резьбового соединения при нормальных температурах. В условиях повышенных температур, например, при 700 °С, наличие наклепа приводит к противоположному эффекту.

4 Обсуждение и заключение

Основным преимуществом накатывания резьб роликами с кольцевыми витками при подаче вдоль оси детали является не только высокая производительность, но и универсальность процесса с точки зрения применяемого оборудования, инструмента, а также и видов деталей, на которых может быть накатана резьба. К числу этих деталей относятся и детали, имеющую большую длину, непрямолинейную ось или же сложную форму, затрудняющую или исключаящую возможность установки их на обычных станках для накатывания резьбы двумя или тремя роликами.

В целом можно заключить, что точность наружных резьб треугольного профиля при накатывании головками стабильно находится в пределах степени точности 6g. Эксперимент показал возможность получения этих резьб степени точности 4h, что подтверждено заводской практикой.

При оптимальных скоростях накатывания и неизменных других условиях [19] произвольное регулирование режима формообразования и калибрования исключается, в связи с чем отпадает вероятность получения дефектной структуры в слоях, образующих профиль резьбы.

Список литературы

- 1 Лоос, Д.С. Автоматизация технологических процессов как основное направление в повышении производительности труда / Д.С. Лоос. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2020. – Т. 1. – С. 520 – 522.
- 2 Отений, Я.Н. Технологическое обеспечение качества деталей машин поверхностным пластическим деформированием: монография / Я.Н. Отений. – Волгоград: Политехник, 2005. – 224 с.
- 3 Болдырев, А.И. Электрохимикомеханическая обработка: монография / А.И. Болдырев. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2012. – 243 с.
- 4 Бобровский, Н.М. Инновационные технологии механической обработки деталей машин поверхностно-пластическим деформированием; учебное пособие / Н.М. Бобровский, И.Н. Бобровский. – Тольятти: ТГУ, 2013. – 80 с.
- 5 Технология финишной упрочняющей пневмодинамической обработки нежестких деталей: монография / А.П. Минаков [и др.]. – Могилев: Белорусско-Российский ун-т, 2016. – 294 с.
- 6 Зайдес, С.А. Новые способы поверхностного пластического деформирования при изготовлении деталей машин / С.А. Зайдес // Вестник МГТУ им. Г.Н. Носова – 2018. – Т. 16. – № 2. – С. 129 – 139.
- 7 Современные технологии формообразования: учебное пособие / В.А. Лебедев, А.И. Болдырев, М.А. Тамаркин, Ю.П. Анкудимов. – Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2019. – 320 с.
- 8 Киричек, А.В. Резьбонакатывание: Библиотека технолога / А.В. Киричек, А.Н. Афонин. – Москва: Машиностроение, 2009. – 312 с.
- 9 Исаевич, Л.А. Анализ существующих способов получения пластическим деформированием периодических выступов и впадин на поверхности изделий / Л.А. Исаевич, Д.М. Иваницкий, Г.В. Костенко // Вестник Белорусского НТУ. – 2008. – № 2. – С. 209 – 218.
- 10 Тимирязев, В.А. Технология накатывания резьб большой длины / В.А. Тимирязев, М.З. Хостикоев, Ф.Н. Чертов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2011. – № 2(12). – С. 177 – 180.
- 11 Хостикоев, М.З. Технология накатывания винтовых поверхностей на валах / М.З. Хостикоев, В.А. Темников, О.А. Телегина // Современные технологии в горном машиностроении: сборник научных трудов семинара. – Москва: МГГУ, 2011. – С. 80-83.
- 12 Афонин, А.Н. Повышение эффективности накатывания резьб: специальность 02.05.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»; автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук / Афонин Андрей Николаевич; науч. конс. А.В. Киричек; Орловский государственный технический университет. – Орел, 2010. – 32 с.
- 13 Гречишников, В.А. Резьбообразующий инструмент: учебное пособие / В.А. Гречишников [и др.]. – Пенза: ПТИ, 1999. – 405 с.
- 14 Paul, E. A schematic of the three die cylindrical thread rolling process/ Based on an image from Degarmo / E. Paul, J.T. Black, R.A. Kohser. // Materials and Processes in Manufacturing. – 2003. – № 9. – P. 757 – 765.
- 15 Железков, С.О. Повышение эффективности процесса накатки крупной резьбы на основе совершенствования технологии и конструкции инструмента: специальность 05.16.05 «Обработка металлов давлением»; автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / Железков

Сергей Олегович; науч. рук. А.Б. Моллер; Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2011. – 18 с.

16 Saidova, M. The Main Problems with Thread Rolling that Affect the Quality of the Product / M. Saidova, A. Achilov // Academic International Conference on Multy-Disciplinary Studies and Education. – 2022. № 1(6). – P. 4-6.

17 Миропольский, Ю.А. Технология и оборудование для накатывания резьб и профилей: обзор / Ю.А. Миропольский, А.Н. Насонов. – Москва: НИИМаш, 1971. – 176 с.

18 Макаров, В.Ф. Повышение надежности и качества изделий на основе снижения влияния локальных концентраторов напряжений в обрабатываемых деталях / В.Ф. Макаров, С.П. Никитин, Н.В. Песин, А.С. Горбунов. // Надежность и качество: труды XXII международного симпозиума. – Пенза: ИПУ РАН, 2017. – С. 133-138.

19 Rajabovich, B.N. Study of the Influence of Rolling Modes and Regimes on the Physical and Mechanical Properties of the Thread / B.N. Rajabovich, U.N. Fayzilloevich, O.A. Adiljonovich // Eurasian Journal of Research Development and Innovation. – 2022. – № 13. – P. 23-27.

References

1 Loos, D.S. Avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov kak osnovnoe napravlenie v povyshenii proizvoditelnosti truda / D.S. Loos. – Tekst: neposredstvennyj // Aktualnye problem aviacii i kosmonavtiki. – 2020. – Т. 1. – S. 520 – 522.

2 Otenij, Ya.N. Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva detale mashin poverhnostnym plasticheskim deformirovanem: monografiya / Ya.N. Otenij. – Volgograd: Politehnik, 2005. – 224 s.

3 Boldyrev, A.I. Elektrohimiomekhanicheskaya obrabotka: monografiya / A.I. Boldyrev. – Voronezh: IPC VGU, 2012. – 243 s.

4 Bobrovskij, N.M. Innovacionnye tekhnologii mekhanicheskoy obrabotki detalej mashin poverhnostno-plasticheskim deformirovanem; uchebnoe posobie / N.M. Bobrovskij, I.N. Bobrovskij. – Tolyatti: TGU, 2013. – 80 s.

5 Tekhnologiya finishnoj uprochnyayushchej pnevmodinamicheskoy obrabotki nezhestkih detalej: monografiya / A.P. Minakov [i dr.]. – Mogilev: Belorussko-Rossijskij un-t, 2016. – 294 s.

6 Zajdes, S.A. Novye sposoby poverhnostnogo plasticheskogo deformirovaniya pri izgotovlenii detalej mashin / S.A. Zajdes. // Vestnik MGTU im. G.N. Nosova – 2018. – Т. 16. – № 2. – S. 129 – 139.

7 Sovremennye tekhnologii formoobrazovaniya: uchebnoe posobie / V.A. Lebedev, A.I. Boldyrev, M.A. Tamarkin, Yu.P. Ankudimov. – Moskva: NIC INFRA-M, 2019. – 320 s. Tekst: neposredstvennyj.

8 Kirichek, A.V. Rezbonakatyvanie: Biblioteka tekhnologa / A.V. Kirichek, A.N. Afonin. – Moskva: Mashinostroenie, 2009. – 312 s.

9 Isaevich, L.A. Analiz sushchestvuyushchih sposobov polucheniya plasticheskim deformirovanem periodicheskikh vystupov i vpadin na poverhnosti izdelij / L.A. Isaevich, D.M. Ivanickij, G.V. Kostenko. – Tekst: neposredstvennyj // Vestnik Belorusskogo NTU. – 2008. – № 2. – S. 209 – 218.

10 Timiryazev, V.A. Tekhnologiya nakatyvaniya rezb bolshoj liny / V.A. Timiryazev, M.Z. Hostikoev, F.N. Chertov. // Izvestiya MGTU «MAMI». – 2011. – № 2(12). – S. 177 – 180.

11 Hostikoev, M.Z. Tekhnologiya nakatyvaniya vintovyh poverhnostej na valah / M.Z. Hostikoev, V.A. Temnikov, O.A. Telegina. // Sovremennye tekhnologii v gornom mashinostroenii: sbornik nauchnyh trudov seminar. – Moskva: MGGU, 2011. – S. 80-83.

12 Afonin, A.N. Povyshenie effektivnosti nakatyvaniya rezb: specialnost; 02.05.07 «Tekhnologiya i oborudovanie mekhanicheskoy i fiziko-tekhnicheskoy obrabotki»; avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Afonin Andrej Nikolaevich; nauch. kons. A.V. Kirichek; Orlovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. – Orel, 2010. – 32 s.

13 Grechishnikov, V.A. Rezboobrazuyushchij instrument: uchebnoe posobie / V.A. Grechishnikov [i dr.]. – Penza: PTI, 1999. – 405 s.

14 Paul, E. A schematic of the three die cylindrical thread rolling process/ Based on an image from Degarmo / E. Paul, J.T. Black, R.A. Kohser // Materials and Processes in Manufacturing. – 2003. – № 9. – P. 757 – 765.

15 Zhelezkov, S.O. Povyshenie effektivnosti processa nakatki krupnojrezby na osnove sovershenstvovaniya tekhnologii i konstrukcii instrumenta: specialnost; 05.16.05 «Obrabotka metallov davleniem»; avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Zhelezkov Sergej Olegovich; nauch. ruk. A.B. Moller; Magnitogorskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. G.I. Nosova. – Magnitogorsk, 2011. – 18 s.

16 Saidova, M. The Main Problems with Thread Rolling that Affect the Quality of the Product / M. Saidova, A. Achilov. // Academic International Conference on Multy-Disciplinary Studies and Education. – 2022. – № 1(6). – P. 4-6.

17 Miropolskij, Yu.A. Tekhnologiya i oborudovanie dlya nakatyvaniya rezb i profilej: obzor / Yu.A. Miropolskij, A.N. Nasonov. – Moskva: NIIMash, 1971. – 176 s.

18 Makarov, V.F. Povyshenie nadezhnosti I kachestva izdelij na osnove snizheniya vliyaniya lokalnyh koncentratorov napryazhenij v obrabatyvaemyh detalyah / V.F. Makarov, S.P. Nikitin, N.V. Pesin, A.S. Gorbunov // Nadezhnost i kachestvo: trudy XXII mezhdunarodnogo simpoziuma. – Penza: IPU RAN, 2017. – S. 133-138.

19 Rajabovich, B.N. Study of the Influence of Rolling Modes and Regimes on the Physical and Mechanical Properties of the Thread / B.N. Rajabovich, U.N. Fayzilloevich, O.A. Adiljonovich. – Tekst: neposredstvennyj // Eurasian Journal of Research Development and Innovation. – 2022. – № 13. – P. 23-27.

© Болдырев А. А., Григораш В. В., Болдырев А.И.,
Падурец А. А. Болдырева Д. В., 2025



УДК 621.43

UDC 621.43

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

К ВОПРОСУ О КИНЕМАТИЧЕСКОМ РАССОГЛАСОВАНИИ В ТРАНСМИССИИ ПОЛНОПРИВОДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

ON THE ISSUE OF KINEMATIC MISALIGNMENT IN THE TRANSMISSION OF ALL-WHEEL DRIVE CARS

Гудков Виктор Владимирович,
к.т.н., доцент, доцент кафедры автомобильной подготовки ВУНЦ ВВС «ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж.

Gudkov Viktor Vladimirovich,
candidate of technical sciences, associate professor, associate of department of automotive training, Military Education and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defense of the RF, Voronezh.

✉¹ **Сокол Павел Александрович**,
к.т.н., преподаватель кафедры автомобильной подготовки ВУНЦ ВВС «ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж,
e-mail: pavsokol@yandex.ru

✉¹ **Sokol Pavel Alexandrovich**,
candidate of technical sciences, lecturer of department of automotive training, Military Education and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defense of the RF, Voronezh,
e-mail: pavsokol@yandex.ru

Аннотация. В статье проанализированы причины возникновения явления циркулирующей мощности в замкнутом силовом контуре «колесный движитель – опорная поверхность» и кинематического рассогласования ведущих колес полноприводного автомобиля при различных условиях и режимах его движения. Проанализированы способы уменьшения кинематического рассогласования ведущих колес, указаны их преимущества и недостатки. Предложен усовершенствованный алгоритм функционирования устройства для определения проскальзывания элементов протектора шины по опорной поверхности с целью уменьшения кинематического рассогласования ведущих колес при заблокированной трансмиссии.

Annotation. The article analyzes the causes of the phenomenon of circulating power in a closed power circuit "wheel propulsion – bearing surface" and kinematic misalignment of the driving wheels of an all-wheel drive vehicle under various conditions and modes of its movement. The methods of reducing the kinematic misalignment of the driving wheels are analyzed, their advantages and disadvantages are indicated. An improved algorithm for the functioning of a device for determining the slipping of tire tread elements along the support surface is proposed in order to reduce the kinematic misalignment of the driving wheels with the transmission locked.

Ключевые слова: ТРАНСМИССИЯ, НЕСОТВЕТСТВИЕ, СКОРОСТЬ, ЦИРКУЛЯЦИЯ МОЩНОСТИ, НАГРУЗКИ, КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ.

Keywords: TRANSMISSION, MISMATCH, SPEED, POWER CIRCULATION, LOADS, TORQUE.

¹ Автор для ведения переписки

1 Актуальность, постановка вопроса, план исследования (обзора)

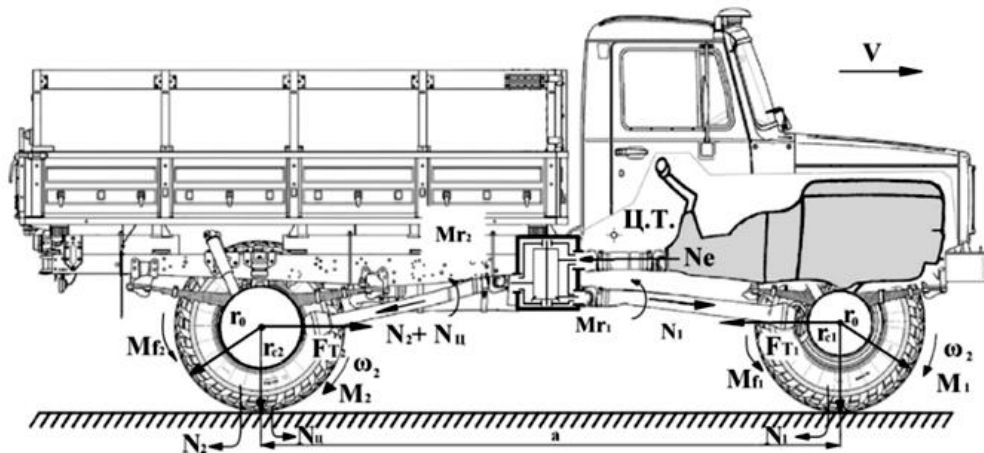
Многофункциональность использования полноприводных автомобилей во многих сферах и в различных климатических и дорожных условиях предъявляет перед ними повышенные и зачастую противоречивые специфические требования: повышенную или высокую проходимость при топливной экономичности, обеспечение заявленной при этом грузоподъемности и приемлемой динамики. Однако, выполнение данных требований во многом зависит от типа схемы трансмиссии и конструкции привода ведущих колес (мостового или балансирного) [1-3]. Исходя из этого, основные заказчики требуют от производителей дальнейшего усовершенствования конструкций шасси, колесного движителя и в том числе широко распространенных механических трансмиссий, которые не в полной мере обеспечивают возможность повышения тягово-сцепных показателей по следующим причинам:

- дифференциальные механизмы не позволяют максимально реализовать сцепные возможности ведущих колес;
- дополнительными потерями полезной мощности вследствие большего числа ведущих мостов и потерь в механизмах трансформации и распределения крутящего момента.

В механических трансмиссиях автомобилей повышенной проходимости со всеми ведущими мостами отработаны схемы, предусматривающие как жесткую связь между ними при ступенчатом регулировании крутящего момента, так и дифференциальную [4]. При этом для заблокированных механических трансмиссий характерен существенный недостаток, выражающийся в возникновении при определенных условиях явления циркуляции мощности в замкнутом силовом контуре «колесный движитель – опорная поверхность» [5-10].

В процессе движения полноприводных автомобилей происходит постоянное изменение величины коэффициента сцепления колесного движителя с опорной поверхностью (ОП), вертикальной нагрузки на нее, а при определенных случаях движения изменяется и ее плотность. В результате происходит изменение величины силового радиуса качения у каждого из ведущих колес, способствуя возникновению процессов перераспределения окружных сил, действующих в области контакта колесного движителя и ОП, приводя к изменению величины крутящего момента, подведенного к ведущим колесам. Эластичные пневматические шины при качении подвержены тангенциальной деформации, и, при частных случаях взаимодействия с ОП при буксовании вызывают ее деформацию с изменением величины коэффициента сцепления. При равномерном и прямолинейном движении полноприводных автомобилей по твердым (недеформируемым) ОП, передние и задние ведущие колеса будут иметь различные линейные скорости, однако, при наличии заблокированного (жесткого) привода ведущих мостов, они будут иметь одинаковые скорости движения. Неодинаковые линейные скорости передних и задних ведущих колес являются причиной возникновения кинематического несоответствия (рассогласования) между ними, и, колеса, (в основном передние), с большей скоростью движения станут забегающими, а колеса с меньшей скоростью движения – тормозящими (рис. 1). Компенсироваться разница в величине пройденного пути между передними и задними ведущими колесами будет, в основном, их буксованием, реже – юзом, что приведет к дополнительной нагрузке узлов и агрегатов трансмиссии. При этом произойдет увеличение разности величин моментов между карданными валами привода ведущих мостов (т.н. момент скручивания), когда передний и задний карданные валы будут скручиваться навстречу друг другу под действием крутящих моментов.

На слабонесущих, деформируемых или скользких ОП паразитный момент скручивания карданных валов дополнительно будет нагружать элементы раздаточной коробки, особенно, при заблокированных дифференциалах и одновременном действии ее постоянно изменяющихся вертикальных и горизонтальных реакций.



r_0 – статический радиус ведущих колес; r_{e1}, r_{e2} – силовые радиусы ведущих колес; F_{T1}, F_{T2} – сила тяги ведущих колес; M_{f1}, M_{f2} – реакции на крутящие моменты; M_1, M_2 – крутящие моменты; M_{r1}, M_{r2} – реактивные моменты от работы главных передач; N_e – мощность, подведенная от силового двигателя; N_1, N_2 – подведенная к ведущим мостам полезная мощность; N_u – циркулирующая мощность; ω_1, ω_2 – окружная скорость ведущих колес

Рисунок 1 – Схема распределения мощности и крутящих моментов в заблокированной трансмиссии полноприводного автомобиля

Возникающие при этом колебания силового двигателя и раздаточной коробки в продольном направлении вызовут их смещение при передаче дополнительных усилий от задних колес к передним и наоборот, а также, появление ударных нагрузок, что делает невозможным получение оптимальной разницы между буксующими передними и задними ведущими колесами для компенсации кинематического рассогласования между ними.

У полноприводных автомобилей при возникновении кинематического рассогласования в колесном движителе потери полезной мощности будут возрастать в случае максимального сцепления ведущих колес с ОП, и, заблокированные дифференциалы, жестко соединенные между собой карданными валами, будут вращаться с одинаковыми угловыми скоростями. Полезная мощность, подведенная к ведущим колесам, будет циркулировать по замкнутому силовому контуру: передние ведущие колеса – узлы и агрегаты трансмиссии – задние ведущие колеса – рама автомобиля – передние ведущие колеса.

При этом, межколесное рассогласование будет меньше, чем межосевое, т.к. перераспределение одновременно действующих вертикальных и горизонтальных реакций ОП между ведущими колесами одного моста будет наблюдаться в меньших пределах [11]. Разница в величинах вертикальных и горизонтальных реакций ОП на смежных ведущих мостах и будет составлять их кинематическое рассогласование, а блокировка дифференциалов ведущих мостов будет влиять на изменение величин крутящих моментов в обратно пропорциональной зависимости. При криволинейном движении автомобиля, особенно, на деформируемых ОП, к переднему ведущему мосту будет подведен меньший по величине крутящий момент, чем к среднему и заднему ведущим мостам, способствуя их дополнительной перегрузке. При прямолинейном движении автомобиля по недеформируемым ОП, будет происходить перегрузка переднего ведущего моста и разгружаться балансирная подвеска среднего и заднего ведущих мостов, и, в результате, передние ведущие колеса будут перегружены, а задние – недогружены [11].

Далее, величина циркулирующей в замкнутом силовом контуре балансирной подвески среднего и заднего ведущих мостов паразитной мощности, будет расти при увеличении разности величин радиусов качения ведущих колес от одновременно действующих на них и постоянно изменяющихся вертикальных и горизонтальных реакций ОП, а также, при увеличении силы сопротивления качению автомобиля.

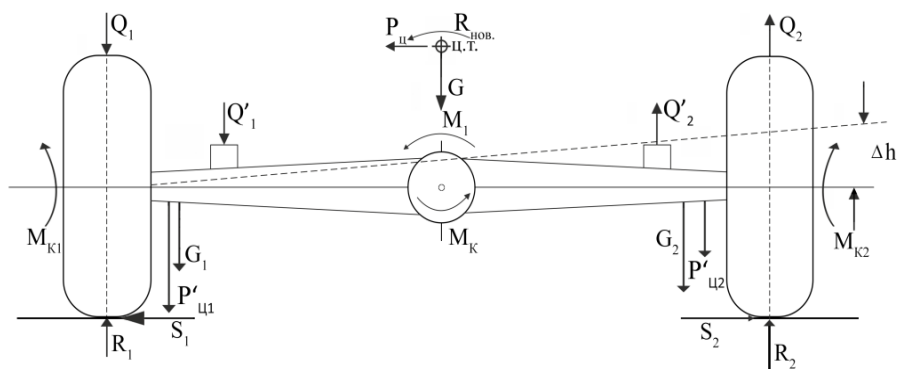
Также, если раздаточная коробка конструктивно имеет возможность блокировки ведущих валов, то подключение переднего ведущего моста (если он не подключен постоянно), вызовет при движении (особенно при криволинейном) по слабонесущим и деформируемым ОП возникновение явления циркуляции мощности. Поэтому, передний мост, где не предусмотрена конструктивно его постоянная работа, подключают только на труднопроходимых и скользких ОП. В других случаях (основная часть времени эксплуатации), такие автомобили вынужденно используются как неполноприводные.

Таким образом, действие процесса кинематического несоответствия в колесном двигателе значительно снижает их тяговые показатели, способствует возникновению явления циркулирующей мощности в замкнутом силовом контуре «колесный двигатель – опорная поверхность», при этом, дополнительно нагружая элементы трансмиссии и колесный двигатель, приводя к снижению их надежности и долговечности из-за повышенного износа при увеличении расхода топлива [12-16].

2 Анализ информационных источников

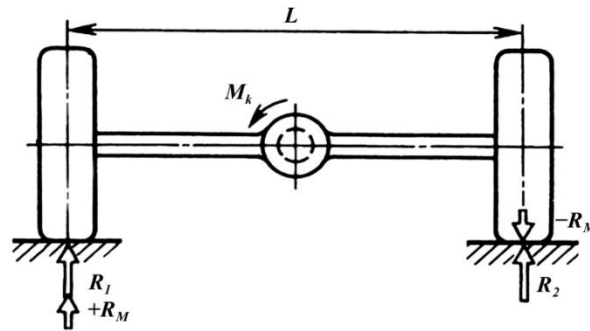
Эксплуатация полноприводных автомобилей происходит как на недеформируемых, так и на слабонесущих ОП. При этом, их технические характеристики могут быть не в полной мере реализованы из-за значительных (до 30 %) потерь полезной мощности в колесном двигателе [17]. При движении автомобиля на колесный двигатель действуют как активные, так и реактивные силы: сила тяжести, нагрузка от рамы и силы, возникающие в процессе взаимодействия ведущих колес и ОП. Действие внешних сил, нагрузок и реакций на балку моста и ведущие колеса показано на рис. 2.

Реакции от действующего крутящего момента (M_k), подведенного к редуктору главной передачи и размещенному в балке ведущего моста, будут способствовать изменению величин действующих вертикальных нагрузок и реакций ОП [18]. При этом, левое ведущее колесо будет дополнительно нагружаться, а правое – разгружаться, а при криволинейном движении, под действием боковой силы оно может сместиться, способствуя внезапному и неконтролируемому уводу ведущей оси в занос (рис. 3).



G_1, G_2 – нагрузки на колеса от веса автомобиля и груза; $P'_{ц1}, P'_{ц2}$ – результирующие величины нагрузок на колеса с учетом момента привода и поворота; Δh – величина смещения от момента привода; M_k – момент привода от КПП; M_1 – момент от реактивных сил; Q'_1, Q'_2 – реакция на колеса от веса автомобиля в опорах моста; M_{k1}, M_{k2} – момент на колесах от движения автомобиля; S_1, S_2 – боковые реакции на шины от дороги; R_1, R_2 – вертикальная реакция дороги; $R_{пов.}$ – радиус наклона ведущего моста; G – вес автомобиля в центре масс; $P_{ц}$ – силы поворота относительно центра масс; Q_1, Q_2 – величины реакций на колесах от веса автомобиля и груза; Δh – величина смещения от крутящего момента

Рисунок 2 – Схема действующих сил и реакций на балку моста и ведущие колеса



R_M – реакция на колесах от момента редуктора; L – колея автомобиля

Рисунок 3 – Схема действия крутящего момента на редуктор и колеса ведущего моста

При разгоне и торможении автомобиля, горизонтальные реакции (R_x) ОП (рисунок 4), возникающие в области ее контакта с ведущими колесами, вызывают поворот балки ведущих мостов, с увеличением изгибающих напряжений, действующих в центрах рессор подвески, который возможно компенсировать установкой продольных штанг (реактивных тяг), работающих на сжатие и на растяжение.

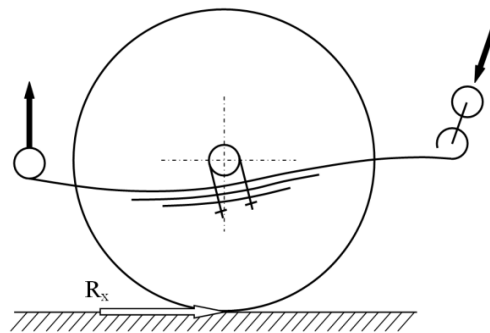
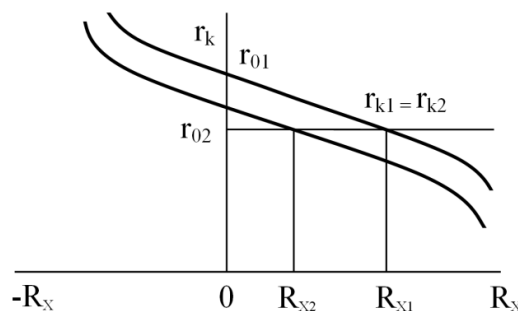


Рисунок 4 – Действие изгибающего момента на рессоры подвески

Таким образом, у автомобилей повышенной проходимости с заблокированной трансмиссией, ведущие колеса будут взаимосвязаны своими отличающимися по величине угловыми скоростями, различными по величине силовыми радиусами (из-за действия на ведущие мосты неодинаковых вертикальных и горизонтальных нагрузок), различными по величине вертикальными и горизонтальными реакциями ОП и неодинаковыми по величине крутящими моментами, подведенными к ним (рис. 5, 6) [16].



r_{k1}, r_{k2} – силовые радиусы колес от сил трения; r_{01}, r_{02} – статические радиусы колес

Рисунок 5 – График изменения силовых радиусов ведущих колес при положительной силе тяги

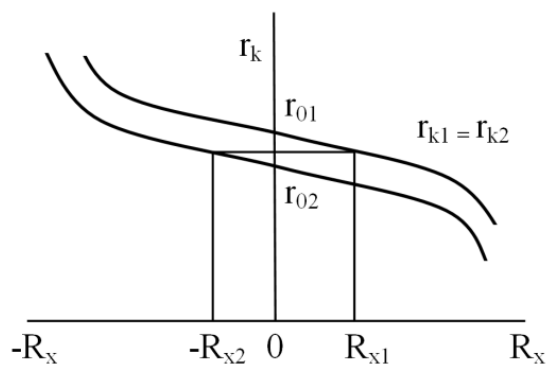


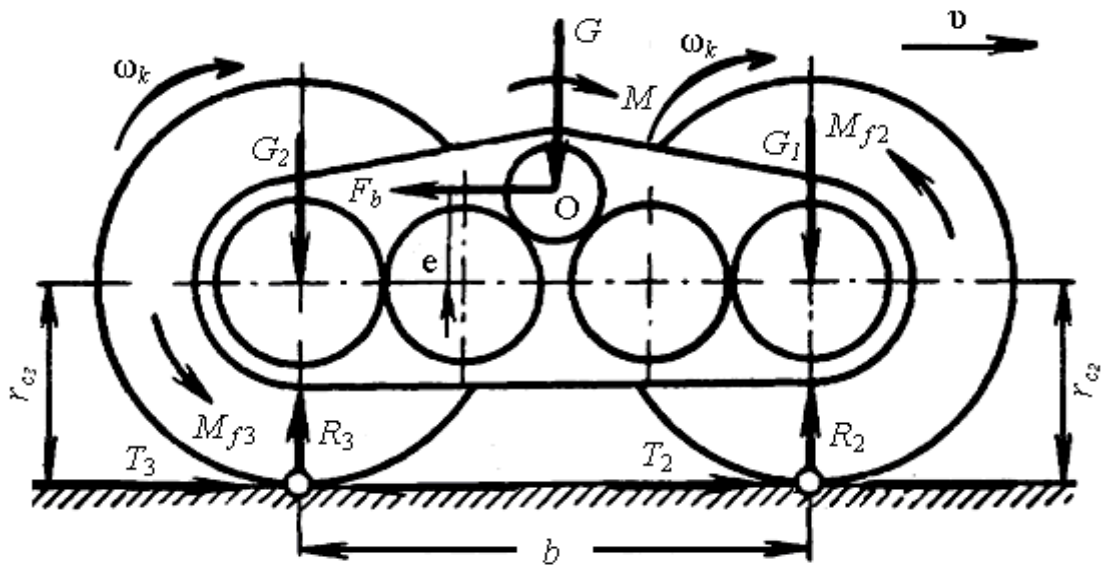
Рисунок 6 – График изменения силовых радиусов ведущих колес под действием циркулирующей мощности

Применение в конструкции полноприводных автомобилей – самосвалов симметричных тандемных мостов неизбежно приведет к увеличению величины перераспределения вертикальных и горизонтальных реакций ОП, способствуя увеличению величины циркулирующей мощности, действующей в силовом замкнутом контуре «колесный движитель – опорная поверхность» (рис. 7).



Рисунок 7 – Тандемный мост полноприводного самосвала

Авторами, в работе [19], было установлено влияние режима движения полноприводного автомобиля, состояния ОП, конструкции привода колесного движителя, величин силовых радиусов ведущих колес, а также отношения плеч тандемного моста относительно точки его качания (подвеса) на перераспределение вертикальных и горизонтальных реакций ОП, а также на изменение величины силы тяги и подведенного крутящего момента. При движении автомобиля будет происходить дополнительное нагружение задних колес тандемного моста на 30–40 % (в зависимости от режимов движения), способствуя уменьшению его тяговых показателей, и, приводя к возникновению явления циркуляции мощности в силовом замкнутом контуре «колесный движитель – опорная поверхность», дополнительно нагружая узлы и агрегаты трансмиссии, ходовой части и колесный движитель. В результате произойдет возникновение процесса перераспределения внешних сил и реакций ОП по ведущим колесам тандемного моста, способствующего его повороту вокруг точки качания (подвеса) в сторону, противоположную подведенному крутящему моменту (рис. 8).



O – точка качания тандемного моста; b – база тандемного моста; F_b – реакция тандемного моста ($F_b=T_2+T_3$); M – подводимый крутящий момент; M_{f2} , M_{f3} – моменты сопротивления качению; G – нагрузка на тандемный мост; G_2, G_3 – нагрузка на ведущие колеса; R_2, R_3 – вертикальные реакции опорной поверхности; r_{c2}, r_{c3} – силовой радиус колеса; e – эксцентриситет; T_2, T_3 – сила тяги, развиваемая колесами

Рисунок 8 – Схема взаимодействия тандемного моста и опорной поверхности

Жесткий шестеренчатый привод ведущих колес при неоднородном характере распределения внешних сил, реакций ОП и моментов между ведущими валами и шестернями тандемного моста, уменьшают полезную тяговую мощность, развиваемую ведущими колесами, и, в дальнейшем, кинематическое рассогласование по ведущим валам вызовет появление циркулирующей мощности, также снижающей полезную мощность для создания силы тяги.

Анализируя процессы распределения вертикальных реакций ОП, действующих на ведущие колеса симметричного тандемного моста (рис. 9), можно сделать вывод о перераспределении вертикальной нагрузки с переднего колеса (вал 2, реакция R_2) на заднее колесо тандемного моста (вал 3, реакция R_3), при этом, разница в нагрузке может достигать 43 %.

В работе [20], автор сделал вывод, что основным конструктивным и эксплуатационным показателем, влияющим на тягово–сцепные характеристики колесных транспортных средств, являются действующие вертикальные реакции ОП на колесный движитель и ведущие мосты, которые снижают реализацию тягово–сцепных возможностей. Также, автор показал, что перераспределение вертикальных реакций ОП существенно влияет на величину буксования ведущих колес, снижая ее на 10-15%.

В целях снижения действия кинематического несоответствия на тяговые показатели колесного движителя в разное время было предложено несколько способов, суть которых заключалась в автоматическом изменении внутреннего давления воздуха в пневматических шинах, приводящего к изменению вертикальной нагрузки на них [21-23]. Эти способы имеют комплексные характерные недостатки, выражающиеся в невозможности конструктивного применения на автомобилях с жесткой подвеской, а также на полноприводных автомобилях. При этом, блоки управления и контроля параметров процессе своей работы не учитывали величины коэффициента сцепления ведущих колес с ОП.

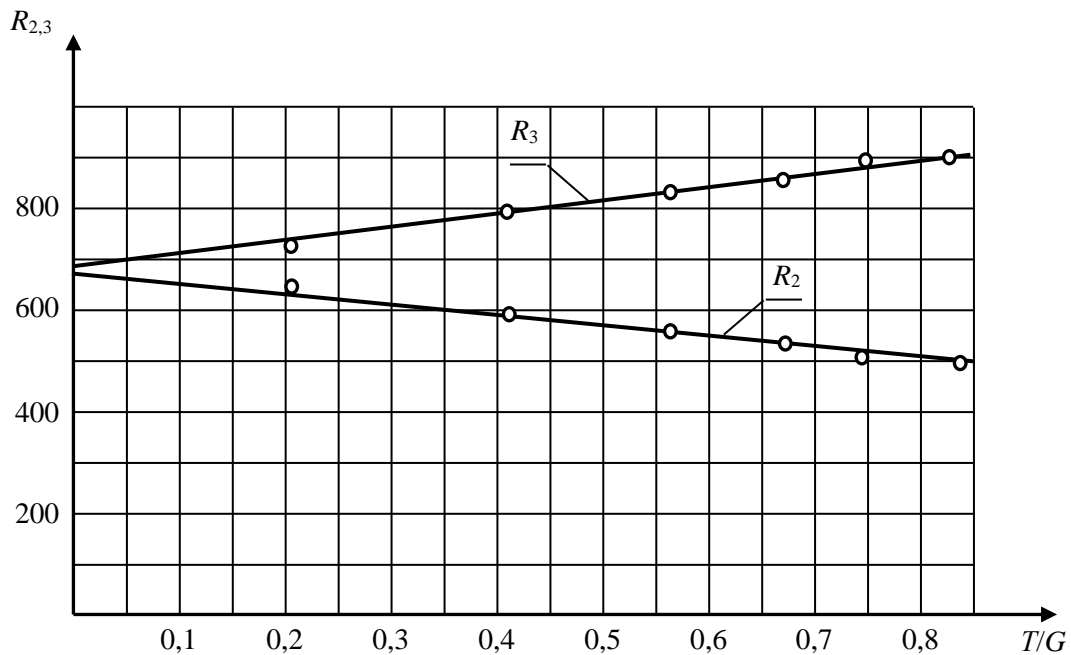


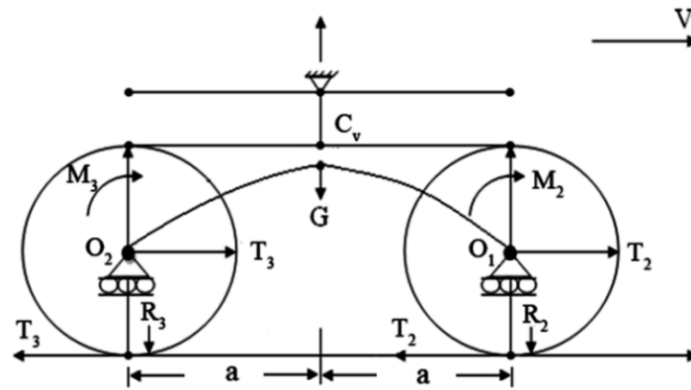
Рисунок 9 – Зависимость величин вертикальных реакций ОП на колесах тандемного моста от изменения относительного тягового усилия

В ходе исследования процессов взаимодействия заблокированного колесного движителя и ОП, авторы, в работе [24], предложили способ определения кинематического рассогласования ведущих колес, сущность которого заключается в проведении измерений на каждом из колес действующих на них вертикальных и горизонтальных внешних сил при перемещении (буксировке) колесной машины и последующего аналитического расчета коэффициента рассогласования на каждом из колес. Данный способ технически сложен при реализации, т. к. произвести корректные замеры одновременно действующих вертикальных и горизонтальных внешних сил, реакций и их регистрацию представляет собой достаточно серьезную проблему.

В работе [25], авторами был предложен способ определения кинематического рассогласования ведущих колес, сущность которого заключалась в переходе измерений от линейной скорости ведущих колес в области контакта с ОП к измерению их линейных перемещений при равных углах поворота в центре области контакта. В ходе проведения измерений одно из колес вывешивалось, а перемещение автомобиля происходило путем буксировки. Однако, для повышения точности эксперимента и снижения погрешностей, необходимо, чтобы колеса вращались с большими угловыми скоростями, что потребует наличия габаритной площадки для проведения измерений. Также, при перекосе автомобиля неизбежно возникнут люфты в узлах и механизмах, что значительно снизит точность результатов при проведении измерений.

3 Обобщение результатов исследований

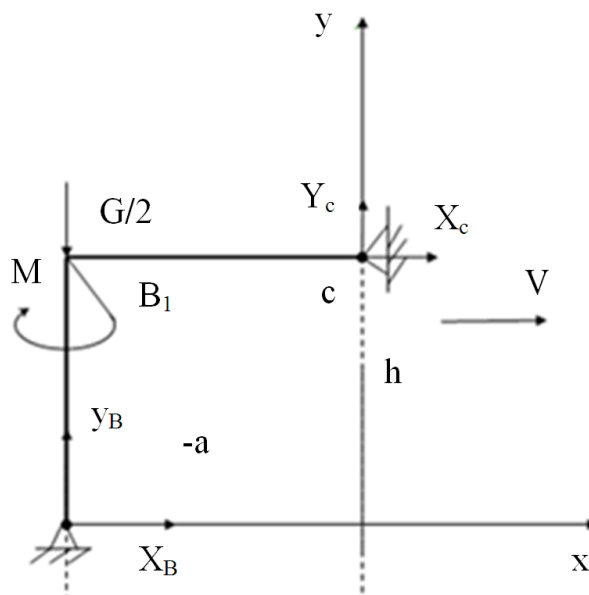
Рассмотрим схему внешних сил и моментов, действующих в балансирном приводе ведущих мостов полноприводного автомобиля. Классическая конструкция подвески среднего и заднего ведущих мостов предполагает их крепление к раме через реактивные тяги, воспринимающие горизонтальные усилия, способные перемещаться по вертикали. При этом, крутящий момент к ведущим мостам подводится через жесткие карданные передачи, и, следовательно, угловая скорость вращения ведущих колес среднего и заднего ведущих мостов будет одинаковой. Схема сил, действующих на балансирную подвеску среднего и заднего ведущих мостов, представлены на рис. 10.



a – плечи балансирной подвески; V – скорость движения автомобиля; C_v – точка качания балансирной подвески; G – вертикальная нагрузка на балансирную подвеску; R_2, R_3 – реакция опорной поверхности на колеса балансирной подвески; T_2, T_3 – сила тяги колес; M_2, M_3 – момент на колесах балансирной подвески

Рисунок 10 – Схема сил, действующих на балансирную подвеску ведущих мостов

Конструкция упругой подвески среднего и заднего ведущих мостов позволяет им перемещаться в вертикальной плоскости, передавая действующие вертикальные реакции ОП друг другу. Учитывая одинаковые расстояния между осями колес среднего и заднего ведущих мостов и центром качания упругих элементов, вертикальная нагрузка от веса автомобиля и груза будет равномерно распределяться между средним и задним ведущими мостами. При этом, реактивные тяги позволяют ведущим мостам двигаться вертикально и независимо друг от друга, и, при этом, становится возможным рассмотрение взаимодействия ведущих колес среднего и заднего мостов и ОП по отдельности. Рассмотрим схему внешних сил, действующих на ведущее колесо заднего моста (рис. 11).



C – точка подвеса колеса заднего моста; Y_c, X_c – вертикальная и горизонтальная реакции в точке крепления подвески заднего моста; M – момент подводимый к колесу; B_1 – точка оси колеса заднего моста; Y_B, X_B – вертикальная и горизонтальная реакции в точке контакта колеса с опорной поверхностью; h – силовой радиус колеса; $-a$ – расстояние от точки качания до оси колеса заднего моста

Рисунок 11 – Схема сил, действующих на ведущее колесо заднего моста

Для решения один раз статически неопределимой системы от действия нагрузки $G/2$ примем $y_B = 1$. Тогда каноническое уравнение эквивалентности основной и заданной системы:

$$y_B \delta_{11} + \Delta_{1p} = 0;$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{2} a \cdot a \cdot \frac{2}{3} a; \Delta_{1p} = \frac{1}{2} a \frac{Ga}{2} \cdot \frac{2}{3} a;$$

$$y_B = \frac{1}{2} a^2 \cdot \frac{2}{3} a - \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{2} a^2 \cdot \frac{2}{3} a = 0;$$

$$y_B = \frac{G}{2}.$$

где δ_{11} – перемещение в основной системе по направлению y_B от действия силы $y_B = 1$;
 Δ_{1p} – перемещение по направлению y_B от заданной нагрузки.

Решая систему с учетом найденной неизвестной силы, получим:

$$\sum M_C = 0;$$

$$\frac{G}{2} \cdot a - y_B \cdot a + x_B \cdot h = 0;$$

$$\frac{G}{2} \cdot a - \frac{G}{2} \cdot a + x_B = 0;$$

$$x_B = 0;$$

$$\sum M_{B1} = 0;$$

$$y_c \cdot a + x_B \cdot a = 0;$$

$$y_c = 0;$$

$$\sum M_x = 0;$$

$$-y_B \cdot a + \frac{G}{2} \cdot a - x_c \cdot h = 0;$$

$$-\frac{G}{2} \cdot a + \frac{G}{2} \cdot a - x_c \cdot h = 0;$$

$$x_c = 0.$$

Окончательно имеем от действия нагрузки $G/2$:

$$X_B = 0; Y_c = 0; X_c = 0.$$

Решим один раз статически неопределимую систему от действия нагрузки M :

Пусть $Y_B = 1$, тогда каноническое уравнение эквивалентности основной и заданной системы будет иметь вид:

$$y_B \delta_{11} + \Delta_{1p} = 0;$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{2} a^2 \cdot \frac{2}{3} a = \frac{1}{3} a^3; \Delta_{1p} = M \cdot a \cdot \frac{1}{2} a = \frac{M}{2} a^2;$$

$$y_B = \frac{3}{2} \cdot \frac{M}{a}.$$

Решая систему с учетом найденной неизвестной силы, получим:

$$\sum M_c = 0;$$

$$-M - y_B \cdot a + x_B \cdot h = 0;$$

$$x_B = \frac{5}{2} \cdot \frac{M}{h};$$

$$\sum M_{B'} = 0;$$

$$-M + x_B \cdot h + y_c \cdot a = 0;$$

$$y_c = -\frac{3}{2} \cdot \frac{M}{a};$$

$$\sum M_c = 0;$$

$$-M - y_B \cdot a - x_c \cdot h = 0;$$

$$x_c = -\frac{5}{2} \cdot \frac{M}{h}.$$

Таким образом, окончательно имеем от действия нагрузки M :

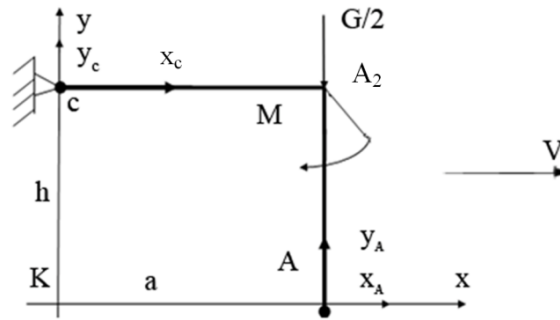
$$x_B = \frac{5}{2} \cdot \frac{M}{h}; y_c = -\frac{3}{2} \cdot \frac{M}{a}; x_c = -\frac{5}{2} \cdot \frac{M}{h}.$$

Согласно принципу независимого действия сил, результирующее значение реакций ОП будет равно:

$$y_B = \frac{G}{2} + \frac{3}{2} \cdot \frac{M}{a}; x_B = \frac{5}{2} \cdot \frac{M}{h};$$

$$y_c = -\frac{3}{2} \cdot \frac{M}{a}; x_c = -\frac{5}{2} \cdot \frac{M}{h}.$$

Рассмотрим равновесие среднего ведущего моста автомобиля (рис. 12).



C – точка подвеса колеса среднего моста; Y_C, X_C – вертикальная и горизонтальная реакции в точке крепления подвески среднего моста; a – расстояние от точки качания до оси колеса среднего моста; A_2 – точка оси колеса среднего моста; Y_A, X_A – вертикальная и горизонтальная реакции в точке контакта колеса с опорной поверхностью; M – момент, подводимый к колесу; h – силовой радиус колеса

Рисунок 12 – Схема сил, действующих на ведущее колесо среднего моста

Для решения один раз статически неопределимой системы от действия нагрузки $G/2$ принимаем $y_a = 1$ и запишем каноническое уравнение эквивалентности основной и заданной системы:

$$y_A \delta_{11} + \Delta_{1p} = 0;$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{2} a \cdot a \cdot \frac{2}{3} a; \Delta_{1p} = \frac{1}{2} a \frac{Ga}{2} \cdot \frac{2}{3} a;$$

$$y_A = \frac{G}{2}.$$

Решая систему для других неизвестных, получим:

$$\sum M_c = 0;$$

$$-\frac{G}{2} \cdot a + y_A \cdot a + x_A \cdot h = 0;$$

$$x_A = 0;$$

$$\sum M_{A'} = 0;$$

$$-y_c \cdot a + x_A \cdot h = 0;$$

$$y_c = 0;$$

$$\sum M_k = 0;$$

$$-\frac{G}{2} \cdot a + y_A \cdot a - x_c \cdot h = 0;$$

$$x_c = 0;$$

$$x_A = 0; y_c = 0; x_c = 0.$$

Рассмотрим действие нагрузки M , и, принимая, что $y_A = 1$ запишем уравнение:

$$y_A \delta_{11} + \Delta_{1p} = 0;$$

$$\delta_{11} \frac{1}{2} a^2 \cdot \frac{2}{3} a = \frac{1}{3} a^3; \Delta_{1p} = M \cdot a \cdot \frac{1}{2} a = \frac{M}{2} a^2;$$

$$y_A \cdot \frac{1}{3} a^3 - \frac{M}{2} a^2 = 0;$$

$$y_A = \frac{3M}{2a}.$$

Решая систему относительно других неизвестных, получим:

$$\sum M_c = 0;$$

$$-M + y_A \cdot a + x_A \cdot h = 0;$$

$$x_A = -\frac{M}{2h};$$

$$\sum M_{A'} = 0;$$

$$-M - y_c \cdot a + x_A \cdot h = 0;$$

$$y_c = -\frac{3M}{2a};$$

$$\sum M_k = 0;$$

$$-M - x_c h + y_A a = 0;$$

$$x_c = \frac{M}{2h};$$

$$x_A = -\frac{M}{2h};$$

$$y_c = -\frac{3M}{2a}; x_c = \frac{M}{2h}.$$

Согласно принципу независимого действия сил, результирующее значение реакций ОП будет равно:

$$y_A = \frac{G}{2} + \frac{3M}{2a}; x_A = -\frac{M}{2h};$$

$$y_c = -\frac{3M}{2a}; x_c = \frac{M}{2h}.$$

Введем ограничение по силе тяги:

$$T_{\max} = X_{\max} \leq G\varphi,$$

где φ – коэффициент сцепления.

При $\varphi = 1$, когда сила тяги не может превышать нагрузку G на каждом колесе можно записать:

$$x = -y\varphi.$$

Для ведущего колеса среднего моста можно записать уравнение:

$$|x_a| = |y_a| \cdot \varphi;$$

$$\frac{G}{2} \cdot \varphi + \frac{3M}{2a} \cdot \varphi = \frac{M}{2h} \Rightarrow \frac{G}{2} \cdot \varphi = \frac{M}{2h} - \frac{3M}{2a} \cdot \varphi = \frac{M \cdot 2a - 3M\varphi \cdot 2h}{2h \cdot 2a};$$

$$G_{ah} \cdot \varphi = Ma - 3mh \cdot \varphi \Rightarrow M_2 = \frac{Gah \cdot \varphi}{a - 3h \cdot \varphi}.$$

Для ведущего колеса заднего моста можно записать уравнение:

$$|x_b| = |y_b| \cdot \varphi;$$

$$\frac{G}{2} \cdot \varphi + \frac{3}{2} + \frac{M}{a} \cdot \varphi = \frac{5}{2} \cdot \frac{M}{h} \Rightarrow G\varphi = \frac{5M}{h} - \frac{3M}{a} \cdot \varphi \Rightarrow G\varphi = \frac{5Ma - 3Mh}{ah} \cdot \varphi;$$

$$G_{ah}\varphi = 5Ma - 3Mh\varphi;$$

$$M_3 = \frac{Gah \cdot \varphi}{5a - 3h \cdot \varphi}.$$

Полученные значения моментов не могут быть превышены из условия сцепления колеса с ОП. Естественно, реальное буксование ведущих колес начнется раньше и будет определяться свойствами ОП и рисунком протектора пневматической шины. При этом вертикальная нагрузка будет равна:

$$y_a = \frac{G}{2} + \frac{3}{2a} \cdot \frac{Gh\varphi}{(a-3h\varphi)} = \frac{G}{2} \left(1 + \frac{3h\varphi}{a-3h\varphi}\right) = \frac{G}{2} \left(\frac{a-3h+3h}{a-3h\varphi}\right) = \frac{G}{2} \cdot \frac{a}{a-3h\varphi};$$

$$x_a = -\frac{Gah\phi}{a-3h\phi} = \frac{1}{2h} = -\frac{Ga\phi}{(a-3h\phi)} = \frac{G}{2} \left(\frac{a\phi}{a-3h\phi} \right);$$

$$y_b = \frac{G}{2} + \frac{3}{2a} \cdot \frac{Gah\phi}{5a-3h\phi} = \frac{G}{2} \cdot \left(\frac{5a-3h+3h}{5a-3h\phi} \right) = \frac{G}{2} \cdot \frac{5a}{5a-3h\phi};$$

$$x_b = \frac{5}{2h} \cdot \frac{Gah\phi}{5a-3h\phi} = \frac{5Ga\phi}{2(5a-3h\phi)} = \frac{G}{2} \cdot \frac{5a\phi}{5a-3h\phi};$$

$$\Delta p = y_a - y_b = \frac{G}{2} \cdot \frac{a}{a-3h\phi} - \frac{G}{2} \cdot \frac{5a}{5a-3h\phi} = \frac{G}{2} a \left(\frac{1}{a-3h\phi} - \frac{5}{5a-3h\phi} \right) =$$

$$= \frac{Ga}{2} \left(\frac{5a-3h\phi-5a+15h\phi}{(a-3h\phi)(5a-3h\phi)} \right) = \frac{G}{2} \cdot \frac{12h\phi}{(a-3h\phi)(5a-3h\phi)} = \frac{6Gha\phi}{(a-3h\phi)(5a-3h\phi)}.$$

Величина силы тяги, развиваемая ведущими колесами заднего моста:

$$T = x_a + x_b = -\frac{G}{2} \left(\frac{a\phi}{a-3h\phi} \right) + \frac{G}{2} \cdot \frac{5a\phi}{5a-3h\phi} =$$

$$= \frac{G}{2} \cdot \frac{5a\phi \cdot (a-3h\phi - a\phi(5a-3h\phi))}{(a-3h\phi) \cdot (5a-3h\phi)} =$$

$$= \frac{G}{2} a\phi \left(\frac{-12h\phi}{(a-3h\phi) \cdot (5a-3h\phi)} \right).$$

Рассмотрим неравномерность создания силы тяги по осям:

$$K_x = \frac{x_b}{x_a} = \frac{\frac{G}{2} \cdot \frac{5a\phi}{(5a-3h\phi)}}{-\frac{G}{2} \cdot \frac{a\phi}{(a-3h\phi)}} = -5 \frac{a-3h\phi}{5a-3h\phi} = -\frac{5a-15h\phi}{5a-3h\phi}.$$

Если силовые радиусы равны $h_1=h_2$, тогда запишем уравнение:

$$K_x = -5 \frac{1,2h-3h\phi}{1,2 \cdot 5h-3h\phi} = -5 \frac{1,2-3\phi}{6-3\phi}.$$

Если в начальный момент времени автомобиль неподвижен, то при начале движения к ведущим мостам подводится мощность N , при значении $\phi = 1$. Тогда, при условии равенства угловых скоростей ($\omega_1=\omega_2$), имеем равенство силовых радиусов ведущих колес ($h_1=h_2$), т.к. пневматические шины автомобиля достаточно жесткие и имеют высокое давление:

$$N = N_1 + N_2 = X_A \omega h + X_B \omega h = \text{const.}$$

Полагая, $N = \frac{N_{ab}}{\omega h} = 1$ что можно записать:

$$1 = X_A + X_B.$$

Учитывая использование относительных величин, получим, что $2h \approx 1$.

При условии $X_B = I - X_A$ можно записать уравнение:

$$\frac{G}{2} \cdot \frac{5a \cdot \varphi}{5a - 3 \cdot h \cdot \varphi} = 1 + \frac{G}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi}{a - 3h \cdot \varphi};$$

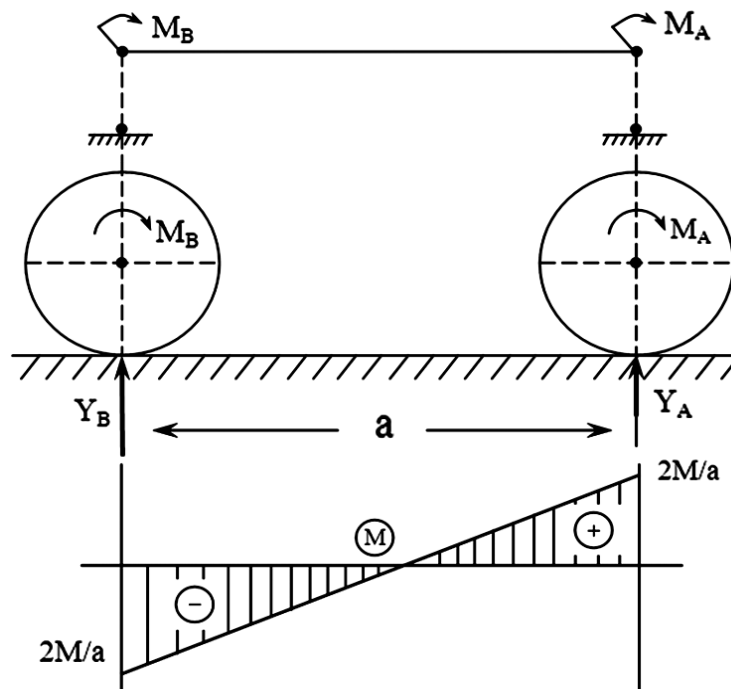
$$\frac{G}{2} \cdot \frac{5a \cdot \varphi}{5a - 3 \cdot h \cdot \varphi} = 1 + \frac{G}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi}{a - 3h \cdot \varphi}.$$

Если значение коэффициента φ безразмерное, то остается:

$$1 = \frac{5a \cdot \varphi}{5a - 3h \cdot \varphi} - \frac{a \cdot \varphi}{a - 3h \cdot \varphi}.$$

Таким образом, мы можем проанализировать процесс перераспределения мощности по ведущим колесам по отношению к нагрузке на ведущих мостах или коэффициента сцепления с ОП.

Для двухосного полноприводного автомобиля рассмотрим схему взаимодействия колес с ОП в виде упрощенной двухопорной балки, при этом, автомобиль нагружается только моментом по ведущим мостам (рис. 13).



M_A, M_B – крутящий момент; a – база автомобиля

Рисунок 13 – Эпюра моментов для двухосного автомобиля

Рассмотрим статически определимую систему для двухосного автомобиля:

$$\sum M_A = 0; \sum M_B = 0;$$

$$-2M - Y_B \cdot a = 0; -2M + Y_A \cdot a = 0;$$

$$Y_B = \frac{-2M}{a}; Y_A = \frac{2M}{a}.$$

Для трехосного полноприводного автомобиля у балансирной подвески среднего и заднего ведущих мостов система статически неопределима даже в упрощенной балочной модели (рис. 14).

Для сохранения неподвижности балки возможно исключить только одну связь, и, следовательно, система получается один раз статически неопределима (при $S=1$). Используя каноническое уравнение можно записать:

$$x_1 \delta_{11} + \Delta_{1M} = 0;$$

$$\delta_{11} = 2a \cdot \frac{2a}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2a \cdot \frac{1}{EY} = \frac{6a^3}{3EY};$$

$$\Delta_{1M} = -3M \cdot 2a \cdot \frac{1}{2} \cdot 2a \cdot \frac{1}{EY} = -\frac{6Ma}{EY};$$

$$X_1 = Y_A = -\frac{\Delta_{1M}}{\delta_{11}} = \frac{6Ma^3 \cdot 3}{8a^2} = \frac{9M}{4a}.$$

Принимаем $M_1 = M_2 = M_3$; $G_1 = G_2 = G_3$; $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$.

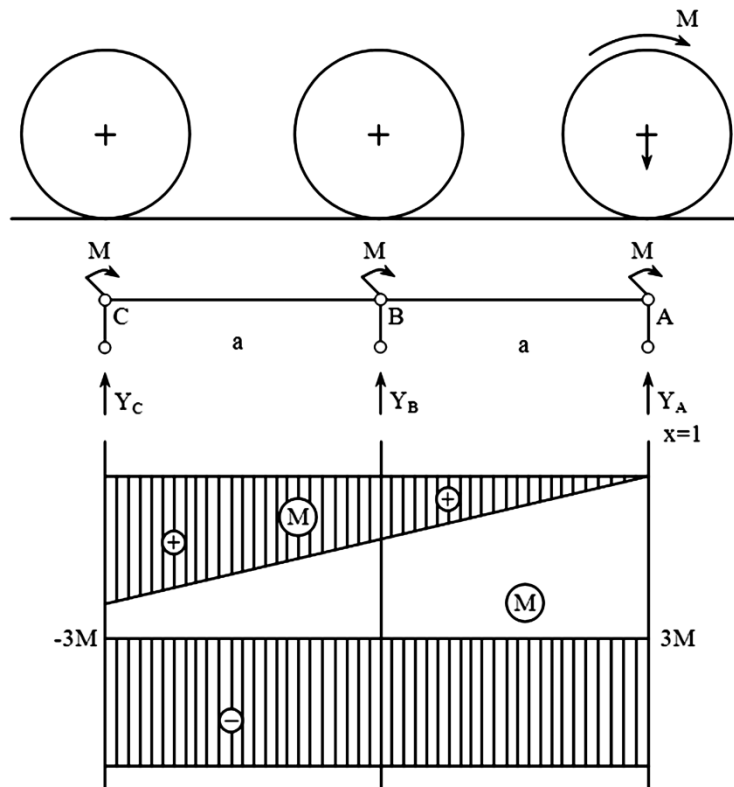


Рисунок 14 – Эпюра моментов для трехосного автомобиля

Для определения остальных неизвестных решим уравнения:

$$\sum M_B = 0;$$

$$-3M - Y_C \cdot a + Y_A \cdot a = 0;$$

$$Y_C = -3 \frac{M}{a} + \frac{9}{4} \frac{M}{a} = \frac{3}{4} \frac{M}{a};$$

$$\sum M_C = 0;$$

$$-3M + Y_B \cdot a + Y_A \cdot 2a = 0;$$

$$Y_B = 3 \frac{M}{a} - \frac{9}{4} \frac{M}{a} \frac{2a}{2} = -\frac{6}{4} \frac{M}{a}.$$

Полученные зависимости, естественно, не отражают полной картины нагружения шасси автомобиля, но, позволяют провести предварительный анализ действующих нагрузок. Даже этот предварительный анализ показывает, что каждое колесо автомобиля при одинаковом подводимом моменте за счет единого взаимодействия колес между собой будет развивать разную силу тяги. В целях проведения корректного анализа происходящих процессов была разработана математическая модель взаимодействия трехосного полноприводного автомобиля и ОП с шестью неизвестными и три раза статически неопределимой (рис. 15). Для решения данной системы были составлены три канонических уравнения перемещений для трех единичных сил:

$$\begin{cases} x_1 \cdot \delta_{11} + x_2 \cdot \delta_{12} + x_3 \cdot \delta_{13} + \Delta_{1p} = 0; \\ x_1 \cdot \delta_{21} + x_2 \cdot \delta_{22} + x_3 \cdot \delta_{23} + \Delta_{2p} = 0; \\ x_1 \cdot \delta_{31} + x_2 \cdot \delta_{32} + x_3 \cdot \delta_{33} + \Delta_{3p} = 0. \end{cases}$$

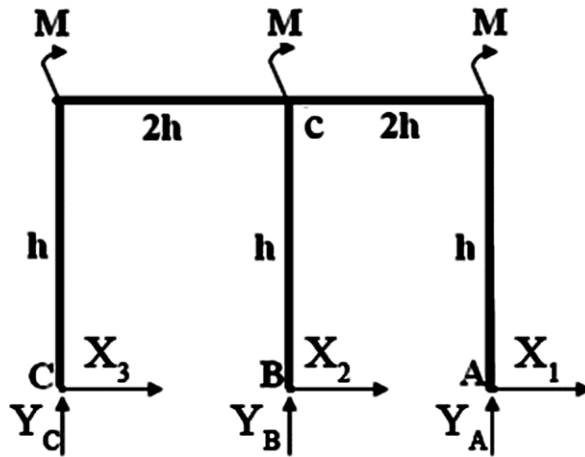


Рисунок 15 – Расчетная модель ходовой части трехосного полноприводного автомобиля

Для решения полученной системы необходимо построить эпюры моментов от каждой неизвестной единичной силы и от грузовых сил (рис. 16). При построении эпюр следует учитывать взаимное влияние отдельных элементов конструкции друг на друга как упругих деформируемых элементов способных к взаимному перемещению.

Для упрощения решения можно записать:

$$a=2h \quad \text{и} \quad M_1=M_2=M_3=M$$

Грузовая эпюра от действия внешних нагрузок M показывает распределение моментов на вертикальных стойках и горизонтальных ригелях конструкции. Эпюры моментов M_1 , M_2 и M_3 от действия единичных сил позволяют определить распределение моментов по конструкции от действия каждой силы по отдельности. Используя полученные эпюры от единичных и грузовых сил, можно определить их площади и координаты центров тяжести, а применяя методы строительной механики для решения статически неопределимых систем, можно определить величины всех неизвестных сил.

Согласно полученной эпюре, действие грузовых моментов M нагружает металлоконструкцию достаточно равномерно. Однако, в точке приложения момента M_2 существует скачок момента с изменением знака его действия, и, загрузки стойки в этой точке в два раза большей величиной момента. Эпюры от действия единичных сил X_1 , X_2 и X_3 показывают неравномерное нагружение конструкции. Так, действие силы X_1 в точке приложения A вызывает равномерное увеличение эпюры моментов по вертикальной стойке от 0 до максимума. Величина момента по горизонтальному ригелю равномерна и равна M . Однако, в точке приложения момента M_2 происходит скачок нагрузок, обусловленный действием опоры в точке В. Действие единичной силы X_1 на участке от точки приложения момента M_2 до точки C определяется передачей нагрузки на конструкцию от деформаций предыдущих элементов. Эпюра от действия единичной силы X_2 в большей степени нагружает горизонтальные ригели неравномерной нагрузкой. При этом, вертикальные стойки равномерно нагружены моментом M . Действие единичной силы X_3 показанное на последней эпюре подобно действию силы X_1 с учетом направления действия и точки приложения.

В результате решения системы получим:

$$X_A = 0.569M/h; Y_A = 0.804M/h;$$

$$X_B = -0.412M/h; Y_B = -0.108M/h;$$

$$X_C = -0.157 M/h; Y_C = -0.696 M/h.$$

Учитывая принятые ранее значения a и M для габаритов и нагрузок на автомобиль, полученные значения в условных долях, от их реальных значений, реализуемых в конструкции автомобиля, позволяют проанализировать возникающие напряжения и деформации в различных условиях нагружения.

Полученные значения вертикальных и горизонтальных реакций ведущих колес и ОП имеют ограниченное применение по причине принятых допущений о равенстве моментов, подводимых к колесному движителю. Однако, в реальных условия эксплуатации автомобилей такое явление встречается чрезвычайно редко. Однако, полученные зависимости позволяют понять сложность и взаимосвязь процессов, происходящих в замкнутом силовом контуре «колесный движитель – опорная поверхность» при движении автомобиля по ОП с различными сцепными свойствами.

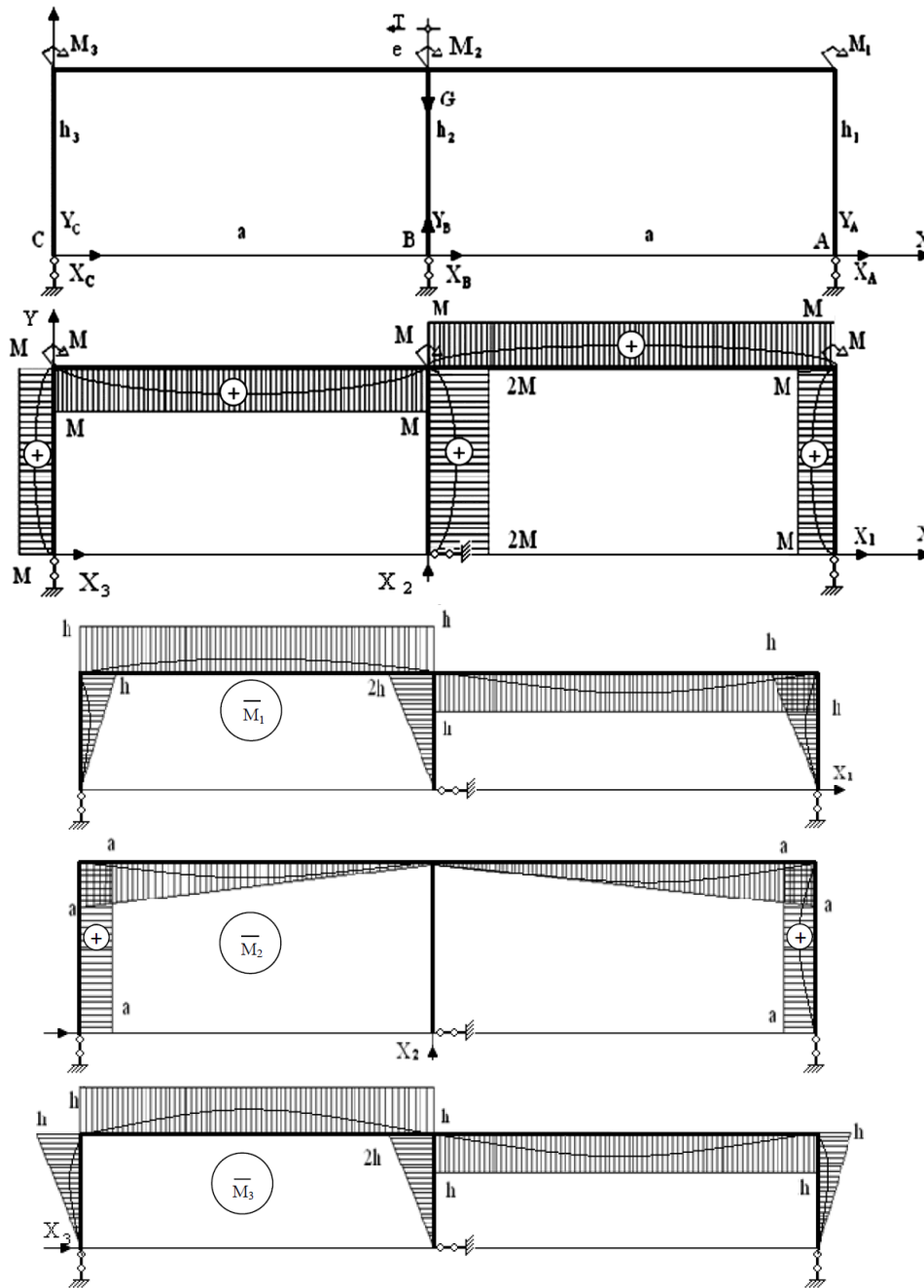


Рисунок 16 – Эпюра моментов для модели трехосного автомобиля

4 Формулирование научно – технического проблемного вопроса дальнейших исследований (проблемы), концепции и задачи исследования

Процессы циркуляции мощности в замкнутом силовом контуре «колесный движитель – опорная поверхность» определяются взаимосвязью нагрузочных режимов на каждом колесе автомобиля, их сцеплением с ОП и кинематической схемой трансмиссии. При этом, объективно существующее ограничение по сцеплению колеса с ОП приводит к ограничению возможностей по созданию силы тяги, направленной на перемещение автомобиля. Влияние циркулирующей мощности на силовые нагрузки в трансмиссии приводит к появлению динамических нагрузок, снижению надежности и долговечности узлов и агрегатов, колесного движителя. Следует учитывать, что циркуляция мощности является не совсем точным термином, подразумевающим движение некоторого потока мощности по замкнутому силовому контуру.

Фактически, циркулирующая мощность создается потоками мощности, направленными навстречу друг другу от забегающего и тормозящего колес автомобиля. Возникающее проскальзывание в области контакта колес и ОП приводит к резкому увеличению износа протектора шин, их деформации, перегреву и преждевременному выходу из строя. Однако, не менее важным является факт появления потоков мощности встречных направлений, на которые тратится полезная мощность силового двигателя, и, которая фактически отбирается от рабочего процесса, ограничивая заявленные характеристики автомобиля. Учитывая рост мощности силовых двигателей, скорости движения и величин нагрузок многоосных автомобилей высокой грузоподъемности, следует ожидать достаточно резкого повышения доли полезной мощности, расходуемой на действующие внутренние процессы в трансмиссии автомобиля и в области контакта ведущих колес и ОП. Соответственно, рост показателя эффективности применения автомобилей будет снижаться, а эксплуатационные расходы будут увеличиваться. Как следствие, необходимо более глубокое изучение процессов, происходящих при взаимодействии ведущих колес и ОП, а также процессов перераспределения действующих внешних сил, реакций, нагрузок и мощностей между ведущими мостами автомобиля без существенных допущений и упрощений, а также обеспечение возможности контроля и минимизации негативных последствий от действия этих процессов.

Список литературы

- 1 Васильченков В.Ф. Военные автомобили. Конструкция и расчет / В.Ф. Васильченков. – Рыбинск – Рязань: Рыбинский дом печати, 1997. – 661 с.
- 2 Ульянов Н.А. Колесные движители строительных и дорожных машин. Теория и расчет / Н.А. Ульянов. – М.: Машиностроение, 1982. – 279 с.
- 3 Бромберг А.А. Машины для земляных работ. Теория и расчет / А.А. Бромберг. – М.: Машиностроение, 1964. – 342 с.
- 4 Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. М.: Государственное научно – техническое издательство машиностроительной литературы, 1950. – 340 с.
- 5 Большая Советская энциклопедия / под ред. А.М. Прохорова. – 3 – изд. – Т. 28. М.: Советская энциклопедия, 1978. – 616 с.
- 6 Чудаков Е.А. Циркуляция паразитной мощности в механизмах бездифференциального автомобиля / Е.А. Чудаков. М.: ГНТИ Машиностроительной литературы, 1950. – 72 с.
- 7 Чудаков Е.А. Движение бездифференциальной тележки с эластичными колесами / Е.А. Чудаков. М.: Изд. Академии Наук СССР, 1946. – 134 с.
- 8 Левин И.А. К вопросу о циркуляции мощности в трансмиссии многоприводного автомобиля. Научные труды МАМИ. – Вып. 1 / И.А. Левин. М.: Научно – техническое издательство автотранспортной литературы, 1954. – С. 76 – 89.
- 9 Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков. М.: КолосС, 2004. – 504 с.
- 10 Антонов А.С. Армейские автомобили. Теория / А.С. Антонов. М.: Воениздат, 1970. – 523 с.
- 11 Аксенов П.В. Многоосные автомобили / П.В. Аксенов. М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.
- 12 Петрушов В.А. Сопrotивление качению автомобиля и автопоездов / В.А. Петрушов. М.: Машиностроение, 1975. – 225 с.
- 13 Гаспарянц Г. А. Повышение проходимости автомобиля / Г.А. Гаспарянц. М.: Транспорт, 1967. – 63 с.
- 14 Бузин Ю. М. Буксование двухосного колесного движителя с заблокированным приводом. Известия ВУЗов. Строительство и архитектура, 1985 – №6. – С.115 – 118.
- 15 Гладов Г. И. Циркуляция мощности / Г.И. Гладов. – М.: МАДИ. – 1986. – 184 с.
- 16 Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители / Я.С. Агейкин. М.: Машиностроение. – 1972. – 184 с.
- 17 Сокол П.А. Обоснование параметров несимметричного балансирного привода задних ведущих колес лесотранспортных машин. Дисс... канд. техн. наук: 05.21.01/ П.А. Сокол. – Воронеж, 2019. – 199 с.
- 18 Раймпель Й. Шасси автомобиля: Элементы подвески / Пер.с нем. А. Л. Карпухина; Под ред. Г. Г. Гидрасова. М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

19 Жуков А.В., Клоков Д.В., Лой В.Н. Погрузочно–транспортная машина МЛ –131 / А.В. Жуков, Д.В. Клоков, В.Н. Лой. – Минск: Труды БГТУ. Сер.2, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – Вып. 8– 2000.– С.83–88.

20 Плужников С.В. Повышение тягово–сцепных свойств колесных полноприводных тракторов с шинами равного размера путем перераспределения нормальных реакций по ведущим осям. Автореферат дисс. канд. техн. наук. 05.20.01./ С.В. Плужников. – Саратов, 2003. – 25 с.

21 А.С. 1279874 СССР 4 В 60 С 23/00. Способ регулирования давления воздуха в шинах колес полноприводного транспортного средства. /А.Б. Белослюдов, С.П. Изюмцев (Московский ордена Трудового Красного Знамени гидромелиоративный ин–т). –3679079/27–11; заявл. 27.12.83 /опубл. 30.12.86 Открытия. Изобретения. – 1986. – № 48.– С. 69.

22 А.С. 1472287 СССР 4 В 60 С 23/00. Автоматическая система регулирования давления воздуха в шинах транспортного средства /Кацыгин В.В., Ким Ю.А., Антонец А.И., Скуртул А.И., Зеленый П.В. (Белорус. политех. ин–т). – 4230910/31-11; Заявл.16.04.87 /опубл. 15.04.89 /Открытия. Изобретения. – 1989. – № 14. – С. 71

23 Исмаилов В.А., Меликов И.М. Снижение отрицательного влияния кинематического несоответствия в трансмиссии полноприводных колесных машин // В.А. Исмаилов, И.М. Меликов / Научный журнал КубГАУ, № 114 (10), – 2015. – С. 1–13. <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/62.pdf>

24 Патент № 1200156А1, МПК G 01М17/007 (2006.01). Способ определения кинематического рассогласования в трансмиссиях многоосных полноприводных колесных машин: заявл.08.05.1984: опубл. 23.12.1985 / Белослюдов А.Б.: заявитель Московский ордена Трудового Красного Знамени гидромелиоративный институт. – 2 с.

25 Патент № 2657136 Российская Федерация, МПК G 01М 1700 (2006.01). Способ определения кинематического рассогласования в трансмиссиях многоосных полноприводных колесных машин: заявл. 24.05.2017: опубл. 08.06.2018 / Симоненко А.Н.: заявитель РГАУ– МСХА имени К.А. Тимирязева.– 5 с.

References

1 Vasilchenkov V.F. Military vehicles. Construction and calculation – Rybinsk – Ryazan: Rybinsk House of Printing, 1997. – 661 p.

2 Ulyanov N.A. Wheeled propellers of construction and road vehicles. Theory and Calculation. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1982. 279 p.

3 Bromberg A.A. Machines for earthworks. Theory and calculation. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1964. 342 p.

4 Chudakov E.A. Theory of the automobile. Moscow: State Scientific and Technical Publishing House of Engineering Literature. – 1950. – 340 p.

5 The Great Soviet Encyclopedia / edited by A.M. Prokhorov. – 3rd ed., vol. 28. Moscow: Soviet Encyclopedia, 1978. – 616 p.

6 Chudakov E.A. Circulation of parasitic power in the mechanisms of a non–differential car. Moscow: GNTI Engineering Literature, 1950. 72 p.

7 Chudakov E.A. The movement of a differential trolley with elastic wheels. Moscow: Ed. Academy of Sciences of the USSR, 1946. 134 p.

8 Levin I.A. On the issue of power circulation in the transmission of a multi–drive car. Scientific works of MAMI. Issue 1. Moscow: Scientific and Technical Publishing House of Motor Transport Literature, 1954. pp. 76-89.

9 Kutkov G.M. Tractors and automobiles. Theory and technological properties. M.: KolosS, 2004. – 504 p.

10 Antonov A.S. Army vehicles. Theory. – M.: Voenizdat, 1970. – 523 p.

11 Aksenov P.V. Multi–axle cars. Moscow: Mashinostroenie, 1989. 280 p.

12 Petrushov V.A. Rolling resistance of a car and road trains. Moscow: Mashinostroenie, 1975 – 225 p.

13 Gaspariyants G. A. Improving the cross–country ability of a car. Moscow: Transport, 1967, 63 p.

14 Buzin Yu. M. Slipping of a two–axle wheel propulsion with a blocked drive. Izvestiya VUZov. Construction and Architecture, 1985, No. 6, pp.115-118.

15 Gladov G. I. Power circulation. Moscow: MADI, 1986. 184 p.

16 Ageikin Ya.S. All–terrain wheeled and combined propellers. Moscow: Mashinostroenie, 1972. 184 p.

17 Sokol P.A. Substantiation of the parameters of the asymmetric balancing drive of the rear driving wheels of timber transport vehicles. Diss... Candidate of Technical Sciences: 05.21.01/ P.A. Sokol. – Voronezh, 2019. – 199 p.

18 Raimpel J. Car chassis: Suspension elements / Translated from German by A. L. Karpukhin; Edited by G. G. Hydrasov— Moscow: Mashinostroenie, 1987— 288 p.

19 Zhukov A.V., Klokov D.V., Loy V.N. Loading and transport machine ML -131 / A.V. Zhukov, D.V. Klokov, V.N. Loy. – Minsk: Truda BSTU. Ser.2, Forestry and woodworking industry. – Vol. 8. –2000.–С. 83–88.

20 Pluzhnikov S.V. Improving traction properties of wheeled four-wheel drive tractors with tires of equal size by redistributing normal reactions along the driving axles. Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. 05.20.01./ S.V. Pluzhnikov. Saratov, 2003, 25 p.

21 A.S. 1279874 USSR 4 B 60 C 23/00. A method for regulating the air pressure in the tires of the wheels of an all-wheel drive vehicle. /A.B. Beloslyudov, S.P. Izyumtsev (Moscow Order of the Red Banner of Labor Hydro-Reclamation Institute). -3679079/27-11; application no. 12/27/83 /publ. 12/30/86 Discoveries. Inventions. – 1986. – No. 48.– p. 6.

22 A.S. 1472287 USSR 4 B 60 C 23/00. Automatic air pressure control system in vehicle tires / Katsygin V.V., Kim Yu.A., Antonevich A.I., Skurtul A.I., Zeleny P.V. (Belarusian. polytech. in-t). – 4230910/31-11; Application 16.04.87 /published on 04/15/189 /Openings. Inventions. – 1989. – No. 14. – p. 7.

23 Ismailov V.A., Melikov I.M. Reducing the negative impact of kinematic inconsistencies in the transmission of four-wheel drive wheeled vehicles // V.A. Ismailov, I.M. Melikov / KubGAU Scientific Journal, № 114 (10), – 2015. – Pp. 1-13. <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/62.pdf>.

24 Patent No. 1200156A1, IPC G 01M 17/007 (2006.01). Method for determining kinematic misalignment in transmissions of multi-axle all-wheel drive wheeled vehicles: application 05/08/1984: published 12/23/1985 / Beloslyudov A.B.: applicant Moscow Order of the Red Banner of Labor Hydro-Reclamation Institute. – 2 p .

25 Patent No. 2657136 Russian Federation, IPC G 01M 1700 (2006.01). Method for determining kinematic misalignment in transmissions of multi-axle all-wheel drive wheeled vehicles: application 24.05.2017: published 08.06.2018 / A.N. Simonenko: applicant RGAU- Ministry of Agriculture named after K.A. Timiryazev. – 5 p .

© Гудков В. В., Сокол П. А., 2025



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ
В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ
ДИЛЕРСКИХ ЦЕНТРОВ КАК ФАКТОР
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА РОССИИ
И РЕГИОНОВ**

**INNOVATIVE APPROACHES IN THE
OP-ERATIONS OF AUTOMOTIVE
DEALER-SHIP CENTERS AS A FACTOR
OF SUS-TAINABLE DEVELOPMENT
IN RUSSIA’S TRANSPORT SECTOR
AND REGIONS**

Сытник Елена Сергеевна,

к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Автомобильно-дорожный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка, e-mail: ess007@bk.ru

Sytnik Elena Sergeevna,

candidate of technical sciences, associate professor of the «Automotive transport» department Automobile and road institute (branch) of the federal state budget educational institution of higher education «Donetsk national technical university», Gorlovka, e-mail: ess007@bk.ru

Аннотация. Статья посвящена инновационным подходам в деятельности автомобильных дилерских центров, направленным на устойчивое развитие транспортного сектора России и её регионов. В условиях глобального экологического кризиса ключевыми направлениями трансформации сектора становятся экологизация, цифровизация, внедрение передовых технологий. В статье выполнен анализ воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду, включая выбросы загрязняющих веществ, парниковых газов, образование техногенных отходов. Выделены актуальные экологические проблемы. Особое внимание уделено роли дилерских центров как посредников между производителями автомобилей, потребителями и государственными регуляторами в процессе формирования устойчивой системы автомобильного транспорта. Предложены практические меры по модернизации их деятельности, включающие развитие продаж экологически чистых автомобилей, управление потоками техногенных отходов системы автосервиса, расширение программ утилизации транспортных средств, а также цифровые решения для оптимизации процессов

Annotation. The article is devoted to innovative approaches in the operations of automotive dealership centers aimed at ensuring the sustainable development of Russia’s transport sector and its regions. Amid the global environmental crisis, key transformation directions for the sector include ecologization, digitalization, and the adoption of advanced technologies. The study analyzes the environmental impact of road transport, including emissions of pollutants and greenhouse gases, as well as the generation of technogenic waste. Current environmental challenges are identified. Special attention is given to the role of dealership centers as intermediaries between automobile manufacturers, consumers, and government regulators in shaping a sustainable automotive transport system. Practical measures for their modernization are proposed, including the transition to environmentally friendly vehicles, management of technogenic waste from the automotive service system, expansion of vehicle recycling programs, and digital solutions for optimizing automotive service processes and reducing the carbon footprint. The implementation of these measures will not only minimize the negative impact of road transport on the environment but also enhance the efficiency of automotive dealership centers.

технического сервиса автомобилей для достижения углеродной нейтральности. Реализация предложенных мер позволит не только минимизировать негативное воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду, но и повысит эффективность деятельности автомобильных дилерских центров.

Ключевые слова: УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ, ДИЛЕР, ЭКОЛОГИЗАЦИЯ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРОМОБИЛИ, ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ, АВТОТРАНСПОРТНЫЙ СЕКТОР, ИННОВАЦИИ.

Keywords: SUSTAINABLE DEVELOPMENT, DEALERSHIP, ECOLOGIZATION, DIGITALIZATION, ELECTRIC VEHICLES, TECHNOLOGICAL WASTE, ROAD TRANSPORT SECTOR, INNOVATIONS.

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Автотранспортный сектор переживает этап масштабной трансформации, обусловленной технологическими, экономическими и экологическими факторами. Одной из наиболее значимых проблем остается его воздействие на окружающую среду. Автомобильный транспорт (АТ) занимает одно из ведущих мест среди источников антропогенного загрязнения окружающей среды, уступая лишь промышленности и энергетике. На его долю приходится почти 22% выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [1]. Ключевые экологические проблемы автотранспортной отрасли включают:

- высокое потребление автомобилями топлив нефтяного происхождения, что увеличивает зависимость от невозобновляемых ресурсов;
- загрязнение атмосферы вредными выбросами (CO , CO_2 , NO_x , C_mH_n , твердые частицы), образующимися при эксплуатации автомобилей с традиционными двигателями внутреннего сгорания, что ухудшает качество атмосферного воздуха и оказывает негативное влияние на здоровье людей [2]. Согласно данным Международного энергетического агентства, на транспортный сектор приходится около 24% мировых выбросов CO_2 [3];
- образование значительных объемов техногенных отходов (отработанные масла, технические жидкости, шины, аккумуляторные батареи, амортизационный лом и т.д.), образующихся во время технического обслуживания (ТО) и ремонта автомобилей, что существенно загрязняет почву, водоемы и воздушный бассейн [4].

Одним из путей решения обозначенных проблем в условиях глобального перехода к устойчивому развитию является разработка и внедрение эффективных мер по экологизации автотранспортного сектора, что согласуется с Целями устойчивого развития (ЦУР), изложенными в «Повестке действий на период до 2030 года» ООН [5] и требует активного внедрения экологически ориентированных решений.

Важную роль в указанных процессах играют автомобильные дилерские центры, которые являются ключевыми звеньями транспортной системы и формируют основу инфраструктуры АТ, обеспечивая доступ населения к новым автомобилям и сервисным услугам. Современные технологии позволяют не только снизить воздействие транспортного сектора на окружающую среду, но и повысить эффективность работы дилеров, внедряя передовые методы обслуживания, управления потоками отходов автосервиса и утилизации автомобильных транспортных средств (АТС).

Эффективные направления экологизации системы АТ включают оптимизацию топливопотребления, снижение вредных выбросов и развитие экотранспорта, что предусматривает формирование экологически ориентированной модели работы автомобильных дилерских центров. Основные аспекты этой работы включают:

- переход на экологически чистые АТС – электромобили, гибридные модели, автомобили на газомоторном топливе;

- развитие цифровых технологий, позволяющих выполнять мониторинг и прогнозирование технического состояния автомобилей;
- автоматизацию управления запасными частями и компонентами;
- оптимизацию маршрутов и снижение затрат на логистику.

Цель статьи – проанализировать инновационные подходы, способствующие экологизации транспортного сектора России и регионов, а также определить ключевые направления его модернизации в новых экономических условиях.

2 Материалы и методы

Статья подготовлена в рамках НИР № Н-2023-4 на тему «Методологические основы управления экологической безопасностью инфраструктуры автосервиса» от 15.02.2023 г. Выполнен анализ статистических данных из открытых источников, включая отчеты статистического агентства «Автостат». Исследование основано на методах документального анализа, сравнительного изучения технологических тенденций. Основное внимание уделено инновационным решениям в области цифровых технологий и экологизации системы АТ, применяемым в деятельности дилерских центров. Использование аналитического подхода позволило систематизировать современные технические разработки, оценить их влияние на развитие дилерской инфраструктуры и предложить рекомендации по интеграции передовых технологий в их деятельность для устойчивого развития транспортной системы России.

Автомобильный рынок РФ на сегодняшний день представлен значительным количеством дилеров. Это организации, занимающиеся коммерческой деятельностью, специализирующейся на реализации АТС и предоставлении различных услуг (гарантийные и постгарантийные работы, диагностика, ТО и ремонт АТС, продажа запасных частей и аксессуаров, оформление кредитов и страхование) по структурной цепочке поставок от производителя к конечным потребителям (рис. 1). Эта модель функционирует благодаря четкой организации и сотрудничеству между всеми участниками, однако, в зависимости от специфики рынка и условий, требуется ее корректировка с возможным добавлением дополнительных посредников или изменением логистики.

На деятельность автомобильных дилеров влияют различные факторы, включая ассортимент марок АТС, условия приобретения, качество и сроки ТО и ремонта, удобство расположения дилерского центра и т.д. Наряду с этим в условиях технологической трансформации особую значимость приобретают цифровизация рабочих процессов, экологические решения и переход на новые форматы взаимодействия с клиентами. Интеграция таких инновационных подходов в деятельность дилерских центров позволит адаптироваться к современным требованиям, повышая уровень клиентского сервиса, операционную эффективность, а также способствуя достижению углеродной нейтральности транспортного сектора Российской Федерации.



Рисунок 1 – Модель структуры дилерской сети

По состоянию на январь 2024 года в России насчитывалось 3653 официальных дилерских центра по продаже и обслуживанию легковых АТС [6]. Однако уже к октябрю 2024 года их количество возросло до 4040 единиц, что на 28,5% больше, чем в 2021 году (3143 единицы) [7]. При этом произошло значительное перераспределение долей между различными категориями брендов. Лидирующие позиции заняли китайские автопроизводители, доля которых выросла втрое – с 21% до 65,1% [7] (рис. 2). Европейские марки, напротив, утратили своё влияние – их доля сократилась почти в 7 раз (с 27,9% до 4,2%). Доля отечественных марок увеличилась с 13,2% до 18,4%, хотя этот рост был менее значительным. Японские и корейские автопроизводители также столкнулись со снижением доли рынка: доля первых упала в 4 раза (с 21% до 5,4%), а вторых – почти втрое (с 12,9% до 4,4%).



Рисунок 2 – Перераспределение долей между различными категориями брендов в структуре дилерских сетей РФ за 2021 и 2024 гг.

Изменение глобальных экономических и политических условий привело к нарушению цепочек поставок и переориентации импорта на азиатский рынок. На российском рынке наблюдается значительный рост интереса к китайским автомобилям. Только за октябрь 2024 года оборот с продажи китайских АТС составил 310 млрд рублей [8]. Компании Haval, Geely и Chery стали лидерами по выручке от реализации китайских автомобилей, что подтверждает их дальнейшее развитие и стабильный рост их рыночной доли. Несмотря на санкции и изменения в структуре импорта, рынок РФ остается емким и перспективным, особенно с учетом роста доли китайских и отечественных брендов.

Переориентация импорта на азиатский рынок требует от дилерских центров развития инфраструктуры для продаж и технического сервиса автомобилей новых брендов, включая:

- цифровизацию процессов дистрибуции (автоматизированные системы управления запасами, онлайн-платформы для заказа и покупки автомобилей);
- расширение сервисных возможностей (внедрение интеллектуальных систем мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния автомобилей, подготовка специалистов по ТО и ремонту новых экологических моделей АТС);
- адаптацию сервисных центров (интеграция технологий ТО и ремонта электромобилей, гибридных и газомоторных АТС).

Распределение автомобильных дилеров по регионам РФ с наибольшим количеством представительств приведено на рис. 3 [9]. Лидерами по количеству официальных дилерских центров являются Москва, Санкт-Петербург, Татарстан и Краснодарский край. Следует отметить, что в рейтинге присутствуют не только крупнейшие мегаполисы, но и регионы с развитой автомобильной индустрией – Челябинская, Тюменская, Самарская, Свердловская и Ростовская области. Такое распределение объясняется высокой покупательной способностью населения в экономически развитых субъектах и необходимостью обеспечения технического

обслуживания коммерческого транспорта в промышленных регионах. Это подтверждает ключевую роль дилерских сетей не только в развитии потребительского рынка, но и в поддержке автомобильной промышленности и региональной транспортной инфраструктуры.



Рисунок 3 – Распределение автодилеров по регионам РФ с наибольшим количеством представительств

Автомобильный рынок России остается одним из крупнейших в мире, что делает его развитие и модернизацию стратегически важной задачей для транспортной системы и экономики страны. По данным статистического агентства «Автостат», автомобильный парк РФ на 1.07.2024 г. составил 55,06 млн единиц [10]. Его структура показана на рис. 4.

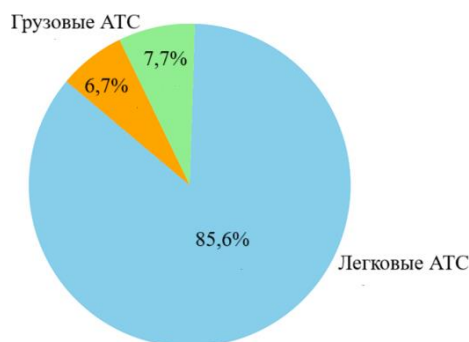


Рисунок 4 – Структура автомобильного парка России на 1 июля 2024 года

Основную часть парка занимают легковые автомобили – 46,81 млн единиц (85%), что определяет ключевые направления развития дилерских центров. Доля лёгких коммерческих транспортных средств (LCV) составляет 4,22 млн (7,7%), а грузовых АТС – 3,66 млн (6,6%).

Наибольшая концентрация автомобилей отмечается в столице России – Москве (3,7 млн легковых АТС) (рис. 5) [11]. Анализ динамики продаж новых автомобилей (рис. 6) [11] показывает, что спрос на транспортные средства остается высоким во многих регионах страны, при этом основной объем продаж сосредоточен в крупных городах, таких как Москва и Санкт-Петербург, где уровень реализации автомобилей значительно превышает другие города. Это обусловлено не только более высокой покупательной способностью населения, но и развитой инфраструктурой дилерских центров, внедряющих передовые технологии продаж и обслуживания.



Рисунок 5 – Города РФ с наибольшим автомобильным парком

Вместе с тем, уверенный спрос на новые АТС наблюдается в таких крупных региональных центрах, как Екатеринбург, Новосибирск, Самара, Казань, Нижний Новгород, Краснодар, Челябинск и Воронеж. Это указывает на стабильное развитие регионального автомобильного рынка, что требует адаптации дилерских центров к локальным особенностям.

Анализ продаж автомобилей важен с точки зрения оптимизации технического сервиса, ведь реализация новых АТС подвержена изменениям во времени в зависимости от экономических, политических и других факторов. Статистические данные [12], представленные в виде диаграммы (рис. 6), наглядно демонстрируют ключевые тенденции:

- 2015 г. – спад продаж на 35,7% в результате экономического кризиса;
- 2017–2018 гг. – восстановление рынка с темпами роста 11,9% и 12,8%;
- 2020 г. – снижение продаж на 9,1%, связанное с пандемией COVID-19;
- 2022 г. – резкое падение продаж на 58,8%, обусловленное кризисными явлениями;
- 2023–2024 гг. – активное восстановление: рост на 43,2% и 47,2% соответственно.

Эти данные свидетельствуют о высокой чувствительности автомобильного рынка к внешним экономическим и социальным факторам, что требует от дилерских центров гибкости в управлении бизнес-процессами и адаптации к изменениям потребительского спроса.

Технологический прогресс предлагает дилерам ряд инновационных решений, направленных на повышение эффективности их работы и качества обслуживания клиентов:

- автоматизированные системы планирования загрузки сервисных центров, позволяющие оптимизировать график обслуживания, повысить их пропускную способность и снизить время ожидания клиентов;
- ИИ-алгоритмы для диагностики автомобилей, обеспечивающие точное выявление неисправностей, прогнозирование технического состояния и сокращение затрат на ремонт;
- цифровые платформы для клиентов, включающие онлайн-запись на ТО и ремонт, удаленные консультации, персонализированные рекомендации по обслуживанию, управление историей ТО и ремонта.

Интеграция таких технологий оптимизирует процессы технического сервиса, сокращая время диагностики, ТО и ремонта, улучшая качество обслуживания клиентов и снижая эксплуатационные издержки дилеров.

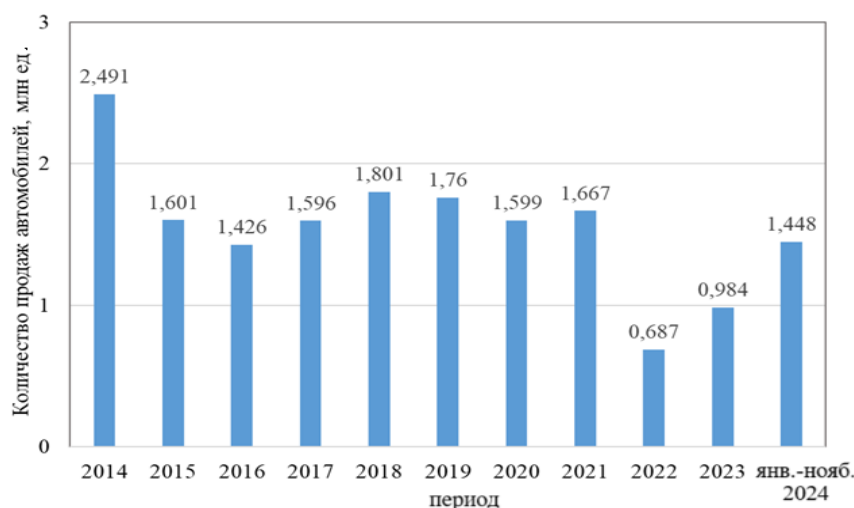


Рисунок 6 – Динамика продаж новых автомобилей в России за 2014–2024 гг.

Отечественные автопроизводители активно осваивают инновационные решения, направленные на повышение эффективности и экологизацию АТ [13]:

- производство электромобилей – создание высокоэффективных АТС, способных конкурировать с зарубежными брендами и обеспечивающих снижение вредных выбросов во время эксплуатации;

- разработка автономных технологий – внедрение систем автоматизированного управления автомобилем (автономное вождение), позволяющих снизить влияние человеческого фактора и повысить безопасность дорожного движения;

- цифровизация автомобильных систем – оснащение автомобилей интеллектуальными панелями управления, голосовыми помощниками, интернет-подключением и другими технологиями, повышающими комфорт и удобство эксплуатации;

- инновации в грузовом транспорте – внедрение систем автоматического определения веса груза, контроля давления в шинах и спутникового позиционирования, что позволяет повысить логистическую эффективность.

Активное внедрение транспортных инноваций наблюдается в Москве, где при поддержке Департамента транспорта работает акселератор «Транспортные инновации Москвы» [14], ориентированный на развитие цифровых технологий и экологически чистого транспорта.

Некоторые автомобильные дилеры осваивают инновационные решения для повышения эффективности продаж и улучшения клиентского сервиса:

1. Цифровизация продаж – использование онлайн-платформ для виртуальных шоурумов [15], продажа автомобилей через маркетплейсы [16], дистанционное оформление покупки, сервис «доставка до двери», применение цифровых инструментов для персонализированного взаимодействия с клиентами. Эти решения позволяют снизить затраты на содержание физических шоурумов, расширить географию продаж и повысить удобство для клиентов.

2. Автоматизация рабочих процессов – внедрение CRM-систем, технологий анализа данных, автоматизированных складских систем и систем управления запасами, что снижает время ожидания клиентов и повышает операционную эффективность [17].

3. Цифровизация сервисных центров – возможность онлайн-записи на ТО и ремонт, цифровая диагностика автомобилей, прогнозирование их технического состояния с использованием искусственного интеллекта, что ускоряет процесс обслуживания и повышает доходность дилерских центров [18].

4. Инновационные форматы автосервиса – создание гибридных сервис-центров, адаптированных для работы как с традиционными АТС, так и с электромобилями [19], что позволяет расширить спектр услуг по ТО, ремонту и увеличить клиентскую базу.

Однако для реального устойчивого развития недостаточно только технологической модернизации – важна реализация эколого-социальных инициатив, которые должны стать неотъемлемой частью деятельности дилеров. Экологический вектор развития предполагает поддержку программ льготного кредитования на электромобили, развитие инфраструктуры зарядных станций, обеспечивающей повсеместное использование электрокаров. Дилеры могут интегрировать зарядные станции в свою сеть, стимулируя развитие электрического транспорта и решая проблему недостатка зарядной инфраструктуры. Без комплексного подхода широкое внедрение экотранспорта будет затруднено, поэтому важно, чтобы дилерские сети не только развивали продажи экологичных автомобилей, но и активно способствовали созданию условий для их эксплуатации.

Важным направлением устойчивого развития дилерских сетей является эффективное управление техногенными отходами, образующимися в результате технического обслуживания и ремонта автомобилей. Анализ экологического воздействия таких отходов подтверждает необходимость внедрения передовых технологий их переработки и утилизации [4]. Последствия воздействия различных отходов системы автосервиса на экологию представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные отходы системы автосервиса и их негативное влияние на окружающую среду

Категория отходов	Основные загрязняющие вещества	Негативное воздействие на окружающую среду
Отработанные масла и технические жидкости (антифризы, тормозные и охлаждающие жидкости и т.д.)	Нефтепродукты, тяжелые металлы	Загрязнение почвы и водоемов при утечках и неправильной утилизации, нарушение экосистем, ухудшение качества питьевой воды.
Аккумуляторные батареи (свинцовые, литий-ионные)	Свинец, кадмий, ртуть, кислоты	Токсическое загрязнение почвы и водных источников при разрушении корпусов, утечках электролита, неправильном хранении и переработке.
Шины, резиновые и пластиковые отходы	Диоксины, фураны, микропластик	Загрязнение воздуха при сжигании, накопление микропластика в почве и воде в процессе разрушения.
Металлические отходы (амортизационный лом, детали двигателей, кузовные элементы и т.д.)	Остатки горюче-смазочных материалов (ГСМ), тяжелые металлы	Загрязнение почвы и водоемов маслами и тяжелыми металлами при неправильной утилизации, распространение токсичных соединений вследствие коррозии.
Накладки тормозных колодок и сцепления	Медь, никель, асбест, тяжелые металлы	Образование токсичных отходов при замене деталей, загрязнение почвы и водоемов микрочастицами металлов и асбеста, образованию вредных аэрозолей при механическом воздействии.

В настоящее время сфера утилизации автомобильных отходов значительно отстает от развития производства АТС и автокомпонентов. Неконтролируемое накопление отходов системы автосервиса приводит к загрязнению почвы, водных ресурсов и воздушного бассейна, увеличивая риски для природной среды и здоровья населения. Развитие систем сбора, переработки и безопасной утилизации отходов позволит минимизировать их негативное воздействие и создать замкнутый цикл экологичного использования ресурсов.

Внедрение передовых технологий переработки и утилизации отходов поможет сделать значительный вклад в формирование экологически ответственной модели развития автотранспортного сектора страны. Следует развивать и поддерживать программы утилизации АТС, выработавших свой ресурс, а также стимулировать замену устаревших автомобилей на более экологичные современные модели. Отслужившие автомобили, не подлежащие эксплуатации,

со временем подвергаются разрушению и разложению, что негативно сказывается на экосистеме. В то же время устаревшие, но все еще эксплуатируемые транспортные средства имеют ухудшенные экологические и топливно-экономические характеристики. Эксплуатация таких АТС приводит к повышенному потреблению нефтяных топлив и росту выбросов загрязняющих веществ с отработанными газами. Такие автомобили также создают проблему загрязнения окружающей среды.

Реализация стимулирующих программ по обновлению автопарка позволит ускорить замену устаревших АТС, сократить объем вредных выбросов, повысить безопасность дорожного движения. Кроме того, создание онлайн-платформ по обмену старых автомобилей на запасные части или услуги технического сервиса, может быть удобным как для автовладельцев, так и для тех, кто ищет доступные запасные части.

Не менее значимым аспектом является участие дилерских центров в эколого-социальных инициативах, направленных на формирование устойчивой автотранспортной системы. Дилерские центры могут принимать участие в различных инициативах:

- проведение экоавтовыставок, демонстрирующих преимущества электромобилей, гибридных моделей и АТС на газомоторном топливе;
- участие в образовательных программах и социальных акциях, направленных на популяризацию экологичного транспорта;
- участие в социальных акциях и экопроектах по утилизации отслуживших автомобилей с предоставлением бонусных программ, льготных условий по обмену старых автомобилей;
- развитие сети зарядных станций, обеспечивающих удобство эксплуатации электрокаров, при сотрудничестве с городскими администрациями и коммерческими партнерами;
- внедрение программ по компенсации углеродного следа, включая озеленение территорий дилерских центров, инвестиции в экологические проекты и использование возобновляемых источников энергии в инфраструктуре предприятий.

Реализация таких мер позволит сформировать устойчивую модель системы автомобильного транспорта, основанную на экологически чистых технологиях. Однако для эффективного внедрения этих инициатив необходима поддержка государства, включая стимулирующие меры, создание благоприятных условий для производителей и потребителей экологически безопасных решений.

3 Результаты исследований

Основными направлениями развития дилерских центров становятся цифровизация рабочих процессов, внедрение инновационных решений, экологизация автомобильных сервисных центров и расширение инфраструктуры для экотранспорта.

Для обеспечения устойчивого развития автотранспортного сектора сформулирован подход к модернизации деятельности дилерских центров (рис. 7), направленный не только на минимизацию экологических рисков от АТ, но и на повышение технологической и экономической адаптивности дилеров.

Особое значение модернизация дилерских сетей приобретает в регионах, таких как Донецкая Народная Республика (ДНР), где актуальны задачи восстановления транспортной инфраструктуры и снижения экологических последствий военных действий. Дилерские центры, находясь на этапе реструктуризации, могут стать ключевым звеном в формировании устойчивой системы автомобильного транспорта республики. Успешная реализация предложенного подхода (рис. 7) позволит не только восстановить транспортный сектор региона, но и сделать его технологически развитым и экологически безопасным, что окажет положительное влияние на транспортную систему всей страны.



Рисунок 7 – Подход к модернизации деятельности автомобильных дилерских центров России и регионов

4 Обсуждение и заключение

Инновационные подходы в деятельности автомобильных дилерских центров играют важную роль в обеспечении устойчивого развития транспортного сектора страны. Дилерам следует адаптироваться к новым экономическим, технологическим и экологическим требованиям, внедряя цифровизацию, автоматизацию рабочих процессов, экологические инициативы. Однако успешная реализация данных мер невозможна без комплексной государственной поддержки.

Необходимы целевые программы, стимулирующие внедрение экологически чистых технологий, развитие инфраструктуры для утилизации и переработки транспортных средств, а также налоговые льготы и субсидии для организаций, внедряющих инновационные решения. Государственное регулирование и финансирование научных исследований в области экологизации автосервиса также являются важными факторами в формировании устойчивой и конкурентоспособной отрасли.

Реализация предложенного подхода к модернизации деятельности дилерских центров при активном участии государства позволит не только снизить экологические риски и повысить эффективность использования ресурсов, но и создать основу для экологически ответственного развития автомобильного транспортного сектора России и регионов.

Список литературы

- 1 Основные показатели окружающей среды. Статистический бюллетень / Росстат. – Текст : электронный. – Москва, 2023. – 105 с. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2023.pdf (дата обращения 15.01.2025).
- 2 Сытник, Е. С. Автомобильный транспорт как основной потребитель топлив нефтяного происхождения и источник вредных выбросов в окружающую среду / Е. С. Сытник, А. И. Черный // Актуальные проблемы науки и техники. 2023 : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 15–17 марта 2023 года / Ответственный редактор Н.А. Шевченко. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2023. – С. 600-602. – EDN ISEXCL.

3 Кокорина, Т. Зеленое преобразование: самые экологичные технологии — 2024, которые меняют мир. – 5 ноя. 2024. [Электронный источник] // Режим доступа: URL: <https://knife.media/ecotechnologies/> (дата обращения: 22.01.2025).

4 Сытник, Е. С. Анализ специфики экологических рисков и угроз в управлении техногенными отходами системы автосервиса / Е. С. Сытник // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4-1(87). – С. 56-64. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-56-64. – EDN MYYCHV.

5 17 Целей в области устойчивого развития ООН – SkillsCenter. – 30 сен. 2019. - [Электронный источник] // Режим доступа: URL: <https://skillscenter.ru/17-tselej-v-oblasti-ustojchivogo-razvitiya-oon/> (дата обращения: 22.01.2025).

6 Тихонова, Л. За год в России стало примерно на 500 автодилеров больше / Л. Тихонова. – Текст : электронный // Автостат : [сайт]. – 2024. – 24 янв. – URL: <https://www.autostat.ru/news/56679/> (дата обращения: 08.12.2024).

7 Лобода, В. Число автодилеров в РФ превысило 4 тысячи, а доля «китайцев» выросла втрое / В. Лобода. – Текст : электронный // Автостат : [сайт]. – 2024. – 24 янв. – URL: <https://www.autostat.ru/news/58788/> (дата обращения: 08.12.2024).

8 Оборот с продажи китайских автомобилей достиг 310 млрд // Автостат Инфо. – 2024. – 06 дек. – URL: <https://t.me/AvtostatInfo/2458> (дата обращения: 08.12.2024).

9 Тимерханов, А. Эксперты нашли регионы с наибольшим количеством автодилеров / А Тимерханов. – Текст : электронный // Автостат : [сайт]. – 2023. – 15 дек. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/56399> (дата обращения: 11.03.2024г.).

10 Стало известно, сколько в России зарегистрировано автомобилей. – Текст : электронный // Газета.Ру : [сайт]. – 2024. – 25 июля. – URL: <https://auto.mail.ru/article/94960-stalo-izvestno-skolko-v-rossii-zaregistrirvano-av/> (дата обращения: 08.12.2024).

11 Хлынов, А. Названы самые автомобильные города России / А. Хлынов. – Текст : электронный // За рулем : [сайт]. – 2019. – 27 июня. – URL: <https://www.zr.ru/content/news/918282-nazvany-samye-gustonaselenyye/> (дата обращения: 08.12.2024).

12 Полная статистика продаж автомобилей в России 2024 год – Текст : электронный // Green Way : [сайт]. – URL <https://greenway.icnet.ru/cars-sales-actual-russia.html> (дата обращения: 08.12.2024)

13 Инновации в автомобильной промышленности России - достижения и разработки отечественных технологий // Страсти по Четырем Колесам : [сайт]. – URL <https://baza-pomerov.ru/blog/posts/tehnologicheskie-innovatsii-v-rossijskom-avtoprome-otechestvennie-razrabotki-i-dostizheniya/> (дата обращения: 08.12.2024).

14 Макарова, Ю. Поехали в город: какие инновации запускают на московском транспорте // Ю. Макарова // Автостат : [сайт]. – 2022. – 02 фев. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/cmrm/61f8fe839a794764663f78ab> (дата обращения: 08.12.2024)

15 Чупров, А. Вопрос эксперту: «Заменят ли онлайн-шоурумы дилеров?» / А. Чупров. – Текст : электронный // Автостат : [сайт]. – 2021. – 29 янв. – URL: https://www.autostat.ru/editorial_column/47152/ (дата обращения: 08.12.2024).

16 Иванова, Е. Маркетплейсы начали продавать машины: почему это не пользуется спросом / Е. Иванова. – Текст : электронный // Автостат : [сайт]. – 2024. – 08 марта. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6560795> (дата обращения: 08.12.2024).

17 Семёнов, И. Автоматизация автосервиса: увеличиваем прибыль СТО за счет внедрения CRM / И Семёнов. – Текст : электронный // Автостат : [сайт]. – 2021. – 19 марта. – URL: https://www.autostat.ru/b2b_autobussines/47707/ (дата обращения: 08.12.2024).

18 Цифровизация и инновации в автобизнесе // VINPIN СТО 100 Программ для автосервиса: [сайт]. – 2024. – 19 авг. – URL: <https://trueinform.ru/modules.php?name=Laid&sid=84848> (дата обращения: 08.12.2024).

19 По де Ревул. Будущее автосервисов в эпоху электромобилей и гибридов / По де Ревул. – Текст : электронный // ПравдаИнформ : [сайт]. – 2024. – 11 окт. – URL: <https://trueinform.ru/modules.php?name=Laid&sid=84848> (дата обращения: 08.12.2024).

References

1 Key Environmental Indicators. Statistical Bulletin / Rosstat. – Text: electronic. – Moscow, 2023. – 105 p. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2023.pdf (accessed: 15.01.2025).

2 Sytnik, E. S. Automobile Transport as the Main Consumer of Petroleum-Based Fuels and a Source of Harmful Emissions into the Environment / E. S. Sytnik, A. I. Cherny // Current Issues of Science and Technology. 2023: Proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, March 15–17, 2023 / Ed. by N.A. Shevchenko. – Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2023. – P. 600-602. – EDN ISEXCL.

3 Kokorina, T. Green Transformation: The Most Eco-Friendly Technologies of 2024 That Are Changing the World. – November 5, 2024. [Electronic resource] // Available at: <https://knife.media/eco-technologies/> (accessed: 22.01.2025).

4 Sytnik, E. S. Analysis of the Specifics of Environmental Risks and Threats in the Management of Technogenic Waste in the Auto Service System / E. S. Sytnik // World of Transport and Technological Machines. – 2024. – No. 4-1(87). – P. 56-64. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-56-64. – EDN MYYCHV.

5 17 UN Sustainable Development Goals – SkillsCenter. – September 30, 2019. – [Electronic resource] // Available at: <https://skillscenter.ru/17-tselej-v-oblasti-ustojchivogo-razvitiya-oon/> (accessed: 22.01.2025).

6 Tikhonova, L. The number of car dealers in Russia increased by about 500 over the year / L. Tikhonova. – Text: electronic // Autostat: [website]. – 2024. – January 24. – URL: <https://www.autostat.ru/news/56679/> (accessed: 08.12.2024).

7 Loboda, V. The number of car dealers in Russia exceeded 4,000, and the share of ‘Chinese’ brands tripled / V. Loboda. – Text: electronic // Autostat: [website]. – 2024. – January 24. – URL: <https://www.autostat.ru/news/58788/> (accessed: 08.12.2024).

8 The turnover from the sale of Chinese cars reached 310 billion // Autostat Info. – 2024. – December 6. – URL: <https://t.me/AvtostatInfo/2458> (accessed: 08.12.2024).

9 Timerkhanov, A. Experts have identified the regions with the highest number of car dealers / A. Timerkhanov. – Text: electronic // Autostat: [website]. – 2023. – December 15. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/56399> (accessed: 11.03.2024).

10 It became known how many cars are registered in Russia – Text: electronic // Gazeta.Ru: [website]. – 2024. – July 25. – URL: <https://auto.mail.ru/article/94960-stalo-izvestno-skolko-v-rossii-zaregistrirvano-av/> (accessed: 08.12.2024)

11 Khlynov, A. The most car-packed cities in Russia / A. Khlynov. – Text: electronic // Za Rulem: [website]. – 2019. – June 27. – URL: <https://www.zr.ru/content/news/918282-nazvany-samyegustonaseleanye/> (accessed: 08.12.2024).

12 Complete statistics of car sales in Russia for 2024 – Text: electronic // Green Way: [website]. – URL: <https://greenway.icnet.ru/cars-sales-actual-russia.html> (accessed: 08.12.2024).

13 Innovations in the automotive industry of Russia – achievements and domestic technological developments // Strasti po Chetyrem Kolesam: [website]. – URL: <https://baza-nomerov.ru/blog/posts/technologicheskie-innovatsii-v-rossijskom-avtoprome-otechestvennie-razrabotki-i-dostizheniya/> (accessed: 08.12.2024).

14 Makarova, Y. Let’s go to the city: What innovations are being launched in Moscow transport / Y. Makarova // Autostat: [website]. – 2022. – February 2. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/cmrm/61f8fe839a794764663f78ab> (accessed: 08.12.2024).

15 Chuprov, A. Expert question: ‘Will online showrooms replace dealers?’ / A. Chuprov. – Text: electronic // Autostat: [website]. – 2021. – January 29. – URL: https://www.autostat.ru/editorial_column/47152/ (accessed: 08.12.2024).

16 Ivanova, E. Marketplaces have started selling cars: why isn’t this popular? / E. Ivanova. – Text: electronic // Autostat: [website]. – 2024. – March 8. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6560795> (accessed: 08.12.2024).

17 Semyonov, I. Automating car services: increasing the profitability of service stations through CRM implementation / I. Semyonov. – Text: electronic // Autostat: [website]. – 2021. – March 19. – URL: https://www.autostat.ru/b2b_autobussines/47707/ (accessed: 08.12.2024).

18 Digitalization and innovation in the automotive business // VINPIN ONE HUNDRED 100 Programs for car service: [website]. – 2024. – Aug 19. – URL: <https://trueinform.ru/modules.php?name=Laid&sid=84848> (date of notification: 08.12.2024).

19 Po de Revul. The Future of Car Services in the Era of Electric and Hybrid Cars / Po de Revul. – Text: electronic // PravdaInform: [website]. – 2024. – October 11. – URL: <https://trueinform.ru/modules.php?name=Laid&sid=84848> (accessed: 08.12.2024).

DOI: 10.34220/2311-8873-2025-90-95



УДК 656.08

UDC 656.08

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ НАЕЗДА АВТОМОБИЛЯ НА ПЕШЕХОДА, ВЫШЕДШЕГО В ПРОИЗВОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ ПОСЛЕ ПРОЕЗДА ПОПУТНОГО ПРЕПЯТСТВИЯ (ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА)

IMPROVING THE METHODOLOGY FOR INVESTIGATING A CAR HITTING A PEDESTRIAN WHO LEFT IN AN ARBITRARY DIRECTION AFTER PASSING A PASSING OBSTACLE (VEHICLE)

✉¹ **Денисов Геннадий Александрович**, к.т.н., доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: dga.vrn@mail.ru

✉¹ **Denisov Gennady Aleksandrovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the department of transportation organization and traffic safety, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: dga.vrn@mail.ru

Злобина Наталья Ивановна, к.т.н., доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: natasha_boichka@mail.ru

Zlobina Natalia Ivanovna, candidate of technical sciences, associate professor of the department of transportation organization and traffic safety, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: natasha_boichka@mail.ru

Разгоняева Вера Викторовна, к.э.н., доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: vera01041984@mail.ru

Razgonyaeva Vera Viktorovna, candidate of economic sciences, associate professor of the department of transportation organization and traffic safety, Voronezh State forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: vera01041984@mail.ru

Стасюк Владимир Владимирович, к.т.н., доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: stasiuk.volodya@yandex.ru

Stasyuk Vladimir Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of transportation organization and traffic safety, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: stasiuk.volodya@yandex.ru

Казачек Мария Николаевна, преподаватель кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: mnk.vrn@yandex.ru

Kazachek Maria Nikolaevna, lecturer, department of transportation organization and traffic safety, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: mnk.vrn@yandex.ru

Венеvitина Светлана Семеновна,
к.ф.-м.н., доцент кафедры математики, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: svetven64@mail.ru

Venevitina Svetlana Semenovna,
candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the department of mathematics, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: svetven64@mail.ru

Феофилова Анастасия Александровна,
к.т.н., доцент кафедры организации перевозок и дорожного движения, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: feofilova@mail.ru

Feofilova Anastasia Alexandrovna,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of transportation and traffic management, Don state technical university, Rostov-on-Don, e-mail: feofilova@mail.ru

Аннотация. Предложено исследование наезда автомобиля на пешехода, который не отмечен в классификации наездов. Рассмотрено исследование, в котором удаление автомобиля от места наезда на пешехода определяют для случаев выхода пешехода на проезжую часть дороги под произвольным углом попутно и навстречу движения автомобиля, совершившего наезд. Особенность исследования заключается в том, что пешеход вышел после проезда попутного автомобилю препятствия. Эксперту необходимо построить треугольники обзорности, записать геометрическое и кинематическое условия, решить уравнения относительно удаления автомобиля.

Annotation. A study of a car hitting a pedestrian who is not marked in the classification of collisions is proposed. A study is considered in which the removal of a car from the place of a pedestrian collision is determined for cases when a pedestrian enters the roadway at an arbitrary angle along the way and towards the movement of the car that has hit. The peculiarity of the study is that the pedestrian got out after passing an obstacle passing the car. The expert needs to build viewing triangles, record geometric and kinematic conditions, and solve equations regarding the removal of the car.

Ключевые слова: АВТОМОБИЛЬ, ПЕШЕХОД, ДОРОГА, НАЕЗД, ИССЛЕДОВАНИЕ.

Keywords: CAR, PEDESTRIAN, ROAD, HIT-AND-RUN, RESEARCH.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) представляют собой отказ безопасной работы транспортного процесса. Самым опасным видом ДТП признан наезд автомобиля на пешехода. Наименее защищены на дороге пешеходы-дети, поскольку они не предсказуемы в поведении и могут появиться на проезжей части в любой момент времени. Водитель при виде ребенка возле проезжей части улицы или дороги обязан срочно предпринять все возможные меры по исключению возможности столкновения с ребенком.

Очень опасен наезд в случае неожиданного выхода пешехода на проезжую часть из-за ограничивающего видимость неподвижного или движущегося препятствия [1-5], а также при неожиданном выходе человека на пешеходный переход при запрещающем сигнале светофора [6-9]. Опасны и наезды в темное время суток [10-13]. Расстояние от автомобиля до пешехода бывает настолько мало, что даже в случае своевременного экстренного торможения водителем, его автомобиль при наезде продолжает двигаться со скоростью, которая была перед торможением. Наезды имеют тяжелые последствия для здоровья пешехода. Практически все ДТП, связанные с наездом, подлежат обязательной экспертизе происшествия [14, 15].

2 Материалы и методы

Экспертиза ДТП проводится сертифицированными экспертами автотехниками в специальных центрах автотехнических экспертиз министерства юстиции РФ или в частных экспертных учреждениях. Для исследования каждого классифицированного наезда экспертам автотехникам предоставляется конкретная методика выполнения расчетов и рекомендованы нормативные документы, в которых прописаны требования к участникам дорожного движения. Анализируя методики проведения экспертизы ДТП, мы пришли к выводу, что в классификацию наездов необходимо добавить наезд, который совершен на пешехода появившегося перед водителем ТС после того, как он вышел после проезда попутного препятствия (другого автомобиля).

3 Результаты исследований

В работах [16, 17] мы рассмотрели вариант исследования наезда, когда пешеход вышел на дорогу перпендикулярно направлению движения ТС. В действительности пешеход может выйти под произвольным углом на встречу или попутно движущемуся автомобилю. Такие наезды реальны и экспертам автотехникам необходимо иметь методики их исследования [18]. Схема исследования одного из таких наездов, когда пешеход вышел под углом навстречу движению автомобиля с дополнительными построениями, представлена на рис. 1. В соответствии со схемой пешеход от края дороги из точки C' вышел на проезжую часть во встречном направлении под произвольным углом навстречу ТС2 и после проезда попутного препятствия ТС1 был сбит автомобилем ТС2. Место наезда на проезжей части обозначено прямым крестом (точка N). На рис. 1 обозначено:

I – положения ТС1 и ТС2 до появления в зоне видимости пешехода;

II – положения ТС1, ТС2 и пешехода (точка C) в момент опасности для движения;

III – положения ТС1, ТС2 и пешехода (точка N) в месте наезда;

ADC – как и в работе [17], линия видимости водителем ТС2 пешехода в момент возникновения опасности для движения;

CN – путь пройденный пешеходом с момента опасности до наезда.

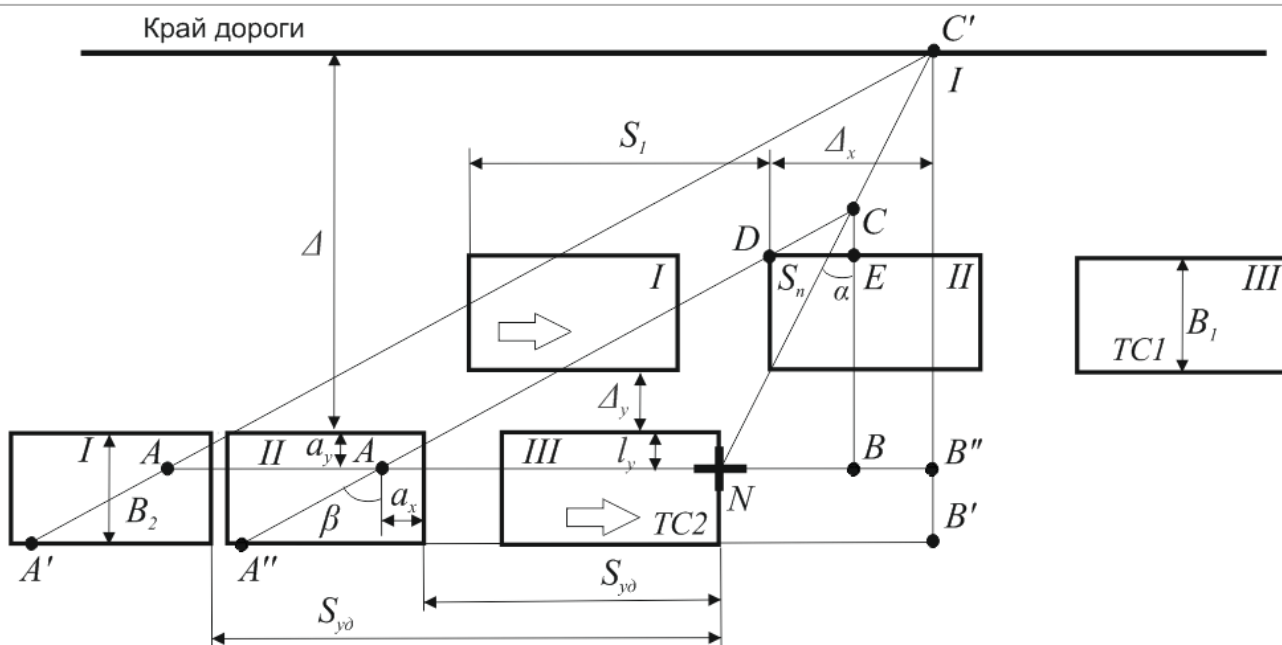


Рисунок 1 – Схема исследования наезда на пешехода, вышедшего под произвольным углом после проезда попутного препятствия

Из дополнительно построенных треугольников обзора $A'B'C'$ и ABC запишем геометрическое условие $A'B'/B'C' = AB/BC$ или

$$\frac{S'_{yd} + a_x + (\Delta + a_y) \operatorname{tg} \alpha}{\Delta + B_2} = \frac{S_{yd} + a_x + S_{\Pi} \sin \alpha}{S_{\Pi} \sin \alpha}, \quad (1)$$

$$S'_{yd} = (\Delta + B_2) \cdot \operatorname{tg} \beta - (B_2 - a_y) \cdot \operatorname{tg} \beta - a_x - (\Delta + a_y) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

из треугольника $NB''C'$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{NB''}{B''C'} = \frac{(\Delta + a_y) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\Delta + a_y} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (3)$$

Добавим кинематическое условие, в котором время движения пешехода τ_{Π} с момента опасности для движения равно времени движения ТС2 τ_a , т.е.

$$\frac{S_{\Pi}}{V_{\Pi}} = \frac{S_{yd}}{V_{a2}}. \quad (4)$$

Числовые значения величин a_x , a_y , B_1 , B_2 эксперт автотехник выбирает из справочной литературы. Значения величин Δ , Δ_x , Δ_y , α , S_{Π} берет из схемы ДТП. Значения V_{Π} и V_{a2} записывает из показаний свидетелей, участников ДТП или по результатам следственного эксперимента.

4 Обсуждение и заключение

Известные числовые значения параметров величин эксперт автотехник подставляет в уравнения (1-4) и упрощает их. Совместное решение уравнений (1-4) позволит найти удаление автомобиля ТС2 от места наезда автомобиля на пешехода. Построение треугольников обзорности и нахождение удаления автомобиля для различных вариантов наезда на пешехода [19] идентичны. Отметим, что удаление S_{yd} определяется, таким образом, независимо от дорожных условий [20], т.е. при отсутствии и при наличии следа юза колес автомобиля.

Далее эксперт автотехник рассчитывает по известным формулам остановочный путь автомобиля, сравнивает его с удалением и делает заключение о наличии или отсутствии у водителя ТС2 технической возможности предотвратить наезд. Окончательное решение о виновности или невиновности водителя ТС2 в ДТП принимает только следователь или суд.

Список литературы

- 1 Надирян С.Л. Влияние объектов транспортной инфраструктуры на безопасность несовершеннолетних участников дорожного движения / Надирян С.Л., Котенкова И.Н., Хакуй Т.Р. // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2024. – № 2. – С. 14-31.
- 2 Зеликов В.А. Обеспечение безопасности участников движения в жилых зонах путём внесения дополнений в транспортное законодательство / Зеликов В.А., Денисов Г.А., Зеликова Н.В. // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2020. – № 1 (67). – С. 266-270.
- 3 Improvement of the current version of road traffic regulations of the russian federation as a promising approach to road safety. Zelikov V.A., Denisov G.A., Dorokhin S.V., Razgonyaeva V.V., Zelikova N.V. Studies in Computational Intelligence. 2019. – Т. 826. – С. 1081-1088.
- 4 Безгина А.А. Профилактика нарушений правил дорожного движения в дошкольной образовательной организации // Вестник ГОУ ДПО ТО "ИПК и ППРО ТО". Тульское образовательное пространство. – 2020. – № 4. – С. 16-18.
- 5 Методы снижения наездов на пешеходов в городской среде /Размарица Д.С., Шевцова А.Г., Новиков И.А. // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. № 2 (5). – С. 356-358.
- 6 Денисов Г.А. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на пешеходных переходах. // Денисов Г.А., Зеликов В.А., Дорохин С.В. // В сборнике: Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств. Сборник научных трудов по материалам XV международной научно-технической конференции. Саратов, 2020. – С. 103-108.

7 Improvement of road traffic safety in the zone of unsignalled pedestrian crossings. Dorokhin S.V., Zelikov V.A., Denisov G.A. В сборнике: Transportation Research Procedia. 2018. – С. 122-128.

8 Потапова У.А. Анализ и методы решения проблемы повышения безопасности дорожного движения на пешеходных переходах / Потапова У.А., Гавриков В.А. // В сборнике: Современная наука: теория, методология, практика. Материалы V-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Тамбов, 2023. – С. 165-166.

9 Полосухина М.В. Обеспечение безопасности дорожного движения на пешеходных переходах / Полосухина М.В., Муравьева Н.А. // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. № 1 (4). – С. 287-293.

10 Денисов Г.А. О целесообразности издания правил дорожного движения для пешеходов / Денисов Г.А., Зеликов В.А., Федюшин А.А. // В сборнике: Организация и безопасность дорожного движения. Материалы X международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения д. т. н., профессора Л.Г. Резника: в 2 томах. – 2017. – С. 365-367.

11 Денисов Г.А. Идентификация действий участников наезда на пешехода в темное время суток при расследовании и экспертизе происшествия / Денисов Г.А., Зеликов В.А., Злобина Н.И. // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 9 (291). – С. 31-33.

12 Об установлении причин наезда на пешехода и повышении безопасности движения в темное время суток путем внесения изменений в транспортное законодательство. Денисов Г.А., Зеликов В.А., Злобина Н.И. Бюллетень транспортной информации. – 2017. – № 2 (260). – С. 24-26.

13 Печатнова Е.В. Влияние периода суток на риск возникновения наезда на пешехода / Печатнова Е.В., Новиков И.А., Кирюшин И.И., Шаталов Е.В. // Воронежский научно-технический Вестник. – 2023. – Т. 3. № 3 (45). – С. 60-66.

14 Гольчевский В.Ф. Экспертное исследование обзорности с места водителя транспортных средствах категории М1. // Сибирские уголовно-процессуальные и криминалистические чтения. – 2021. – № 4 (34). – С. 104-115.

15 Схалпок Т.А. Значение автотехнической экспертизы при проведении административного расследования ДТП. // Вестник науки. 2022. – Т. 5. № 5 (50). – С. 182-187.

16 Денисов Г.А. Методика исследования ДТП с участием пешехода, не предусмотренного классификацией наездов / Денисов Г.А., Сидоров Б.А., Злобина Н.И., Зеликов В.А. // В сборнике: Технология транспортных процессов - настоящее и будущее. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Отв. редактор В.А. Зеликов. Воронеж, 2021. – С. 11-19.

17 Денисов Г.А. Нахождение удаления автомобиля при исследовании наезда на пешехода, вышедшего после проезда движущегося попутного препятствия / Денисов Г.А., Зеликов В.А., Злобина Н.И., Яковлев С.А. // Бюллетень транспортной информации. 2016. – № 8 (254). – С. 21-23.

18 Денисов Г.А. Систематизация вариантов и совершенствование методики исследования наезда автомобиля на пешехода, вышедшего из-за встречного препятствия / Денисов Г.А., Зеликов В.А., Злобина Н.И. // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 3 (58). – С. 115-122.

19 Кузнецов В.В. К вопросу о классификации отдельных видов дорожно-транспортных происшествий. / Кузнецов В.В., Горбатенко Д.С., Порташников О.М. // Вестник Воронежского института МВД России. 2020. – № 1. – С. 233-238.

20 Муравьева Н.А. Оценка влияния дорожных условий на механизм дорожно-транспортных происшествий. / Муравьева Н.А., Столяров В.В. // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. – Т. 3. № 3 (6). – С. 330-334.

References

1 Nadiryan S.L. The impact of transport infrastructure facilities on the safety of minor road users / Nadiryan S.L., Kotenkova I.N., Khakuy T.R. // Electronic online polythematic journal "Scientific works of KubSTU". - 2024. - No. 2. - P. 14-31.

2 Zelikov V.A. Ensuring the safety of road users in residential areas by amending transport legislation / Zelikov V.A., Denisov G.A., Zelikova N.V. // Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University. - 2020. - No. 1 (67). - P. 266-270.

3 Improvement of the current version of road traffic regulations of the Russian Federation as a promising approach to road safety. Zelikov V.A., Denisov G.A., Dorokhin S.V., Razgonyaeva V.V., Zelikova N.V. Studies in Computational Intelligence. 2019. Vol. 826. Pp. 1081-1088.

4 Bezgina A.A. Prevention of traffic violations in a preschool educational organization // Bulletin of the State Educational Institution of Additional Professional Education of the Tyumen Region "IPC and PPRO TO". Tula educational space. - 2020. - No. 4. - Pp. 16-18.

5 Methods for reducing collisions with pedestrians in an urban environment / Razmaritsa D.S., Shevtsova A.G., Novikov I.A. // Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects for rational use. – 2016. – V. 3. No. 2 (5). – P. 356-358.

6 Denisov G.A. Recommendations for ensuring traffic safety at pedestrian crossings. // Denisov G.A., Zelikov V.A., Dorokhin S.V. // In the collection: Actual issues of organization of automobile transportation, traffic safety and operation of vehicles. Collection of scientific papers based on the materials of the XV international scientific and technical conference. Saratov, 2020. – P. 103-108.

7 Improvement of road traffic safety in the zone of unsignalled pedestrian crossings. Dorokhin S.V., Zelikov V.A., Denisov G.A. In the collection: Transportation Research Procedia. 2018. – P. 122-128.

8 Potapova U.A. Analysis and methods for solving the problem of improving road safety at pedestrian crossings / Potapova U.A., Gavrikov V.A. // In the collection: Modern science: theory, methodology, practice. Proceedings of the V-th All-Russian (national) scientific and practical conference. Tambov, 2023. - P. 165-166.

9 Polosukhina M.V. Ensuring road safety at pedestrian crossings / Polosukhina M.V., Muravyova N.A. // Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects for rational use. - 2016. - V. 3. No. 1 (4). - P. 287-293.

10 Denisov G.A. On the feasibility of publishing traffic rules for pedestrians / Denisov G.A., Zelikov V.A., Fedyushin A.A. // In the collection: Organization and road safety. Proceedings of the X international scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the birth of Doctor of Engineering Sciences, Professor L.G. Reznik: in 2 volumes. - 2017. - P. 365-367.

11 Denisov G.A. Identification of the actions of participants in a collision with a pedestrian in the dark during the investigation and examination of the incident / Denisov G.A., Zelikov V.A., Zlobina N.I. // Bulletin of transport information. - 2019. - No. 9 (291). - P. 31-33.

12 On establishing the causes of a collision with a pedestrian and improving traffic safety in the dark by amending transport legislation. Denisov G.A., Zelikov V.A., Zlobina N.I. Transport Information Bulletin. – 2017. – No. 2 (260). – P. 24-26.

13 Pechatnova E.V. Influence of the period of the day on the risk of a collision with a pedestrian / Pechatnova E.V., Novikov I.A., Kiryushin I.I., Shatalov E.V. // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2023. – Vol. 3. No. 3 (45). – P. 60-66.

14 Golchevsky V.F. Expert study of visibility from the driver's seat of category M1 vehicles. // Siberian criminal procedure and forensic readings. – 2021. – No. 4 (34). –P. 104-115.

15 Shaplok T.A. The Importance of Automotive Technical Expertise in Conducting an Administrative Investigation of Road Accidents // Science Bulletin. 2022. - Vol. 5. No. 5 (50). - P. 182-187.

16 Denisov G.A. Methodology for investigating road accidents involving a pedestrian not covered by the collision classification / Denisov G.A., Sidorov B.A., Zlobina N.I., Zelikov V.A. // In the collection: Technology of transport processes - present and future. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Responsible editor V.A. Zelikov. Voronezh, 2021. - P. 11-19.

17 Denisov G.A. Finding the Distance of a Vehicle in the Investigation of a Collision with a Pedestrian Who Exited After Passing a Moving Obstacle / Denisov G.A., Zelikov V.A., Zlobina N.I., Yakovlev S.A. // Bulletin of Transport Information. 2016. - No. 8 (254). - P. 21-23.

18 Denisov G.A. Systematization of Options and Improvement of the Methodology for Investigating a Vehicle Collision with a Pedestrian Who Exited from Behind an Oncoming Obstacle / Denisov G.A., Zelikov V.A., Zlobina N.I. // The World of Transport and Technological Machines. - 2017. - No. 3 (58). -P. 115-122.

19 Kuznetsov V.V. On the Classification of Certain Types of Road Accidents. / Kuznetsov V.V., Gorbatenko D.S., Portashnikov O.M. // Vestnik Voronega Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2020. - No. 1. -P. 233-238.

20 Muravyova N.A. Assessment of the influence of road conditions on the mechanism of road accidents. / Muravyova N.A., Stolyarov V.V. // Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects for rational use. 2016. - V. 3. No. 3 (6). - P. 330-334.

© Денисов Г. А., Злобина Н. И., Разгоняева В. В., Стасюк В. В.,
Казачек М. Н., Веневитина С. С., Феофилова А. А., 2025



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
УТОМЛЕНИЯ ВОДИТЕЛЯ
НА АВАРИЙНОСТЬ
И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ
ЧИСЛА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ
ПРОИСШЕСТВИЙ**

**STUDY OF THE INFLUENCE OF DRIVER
FATIGUE ON ACCIDENTS
AND RECOMMENDATIONS
TO RE-DUCE THE NUMBER
OF ROAD AC-CIDENTS**

✉¹ **Зеликов Владимир Анатольевич**,
д.т.н., доцент, заведующий кафедрой органи-
зации перевозок и безопасности движения,
Воронежский государственный лесотехниче-
ский университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, e-mail: zelikov-vm@mail.ru

✉¹ **Zelikov Vladimir Anatolyevich**,
doctor of technical sciences, associate professor, head
of the department of organization of transportation
and traffic safety, Voronezh state forestry university
named after G.F. Morozov, Voronezh,
e-mail: zelikov-vm@mail.ru

Климова Галина Николаевна,
к.т.н., доцент, доцент кафедры организации пе-
ревозок и безопасности движения, Воронеж-
ский государственный лесотехнический уни-
верситет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Klimova Galina Nikolaevna,
candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the department of transportation
organization and traffic safety, Voronezh state forestry
university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Денисов Геннадий Александрович,
к.т.н., доцент, доцент кафедры организации пе-
ревозок и безопасности движения, Воронеж-
ский государственный лесотехнический уни-
верситет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Denisov Gennady Alexandrovich,
candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the department of transportation
organization and traffic safety, Voronezh state forestry
university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Струков Юрий Вячеславович,
к.т.н., доцент, доцент кафедры организации пе-
ревозок и безопасности движения, Воронеж-
ский государственный лесотехнический уни-
верситет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Strukov Yuri Vyacheslavovich,
candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the department of transportation
organization and traffic safety, Voronezh state forestry
university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Внукова Светлана Владимировна,
к.ф.-м.н., доцент кафедры общей и прикладной
физики, Воронежский государственный лесо-
технический университет имени Г.Ф. Моро-
зова, г. Воронеж.

Vnukova Svetlana Vladimirovna,
candidate of physical and mathematical sciences, as-
sociate professor of the department of general and ap-
plied physics, Voronezh state forestry university
named after G.F. Morozov, Voronezh.

Стородубцева Тамара Никаноровна,
д.т.н., профессор кафедры промышленного
транспорта, строительства и геодезии, Воро-
нежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Storodubtseva Tamara Nikanorovna,
doctor of technical sciences, professor of the depart-
ment of industrial transport, construction and geod-
esy, Voronezh state forestry university named after
G.F. Morozov, Voronezh.

Черников Эдуард Анатольевич,

к.т.н., доцент кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Chernikov Eduard Anatolyevich,

candidate of technical sciences, associate professor of the department of industrial transport, construction and geodesy, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Аннотация. Рассматривается вопрос влияния утомления водителя на аварийность. Даны рекомендации по снижению числа дорожно-транспортных происшествий.

Annotation. The issue of the impact of driver fatigue on accidents is considered. Recommendations are given for reducing the number of road accidents.

Ключевые слова: ВОДИТЕЛЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ, ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЕ ПРОИСШЕСТВИЕ, НАДЕЖНОСТЬ ВОДИТЕЛЯ, РАБОТОСПОСОБНОСТЬ, УТОМЛЕНИЕ, ПСИХО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ.

Keywords: DRIVER, ROAD SAFETY, ROAD ACCIDENT, DRIVER RELIABILITY, PERFORMANCE, FATIGUE, PSYCHO-PHYSIOLOGICAL INDICATORS.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В настоящее время лидирующее место по количеству пострадавших и погибших человек среди иных причин гибели и серьезных заболеваний человечества занимает доля причин, обусловленная дорожно-транспортными происшествиями (ДТП). При нарастающей интенсивности дорожного движения очень многоплановой и разнообразной является деятельность по предупреждению и снижению тяжести последствий ДТП [1, 2].

Безопасность дорожного движения зависит от надежности входящих элементов в систему «ВАДС». По вине водителей совершается более 85 % ДТП, остальные 15 % распределяются на причины:

- техническая неисправность транспортного средства (ТС) – до 6 %;
- инфраструктура – до 5 %;
- погодные условия – до 4 %.

Анализ статистики ДТП по РФ за 2023 год показывает, что в 2023 году произошел рост всех основных показателей ДТП. Это произошло впервые за последние 10 лет. Число ДТП возросло по отношению к 2022 году на 4,5 %, погибших – на 2,3 %, раненных – на 4,3 %.

Основные виды нарушений правил дорожного движения (ПДД) по вине водителей в РФ за 2023 год, зафиксированных камерой наблюдения, – это превышение установленной скорости (81,3 %) и несоблюдение требований дорожных знаков и разметки (8 %). Таким образом, анализ статистических данных ДТП по РФ указывает, что «человеческий фактор» остается главным источником аварий на дорогах.

Профессиональная деятельность водителя, сложная обстановка на дорогах, обуславливают, в первую очередь, неопределенность поступающей информации.

Повышение профессиональной надежности водителей является одним из важнейших направлений деятельности по профилактике и снижению уровня аварийности на автомобильном транспорте.

Понятие надежности водителя в транспортной психологии определяется как безошибочное управление транспортным средством. Оценить надежность водителя – сложная задача, поскольку степень надежности водителя зависит от многих факторов:

- качества профессиональной подготовленности (стаж работы, опыт, знания);

- профессиональной пригодности, прежде всего от состояния здоровья, психофизиологических и личных качеств, соответствующих требованиям водительской деятельности;
- работоспособности (общая выносливость, выносливость к перенапряжению, устойчивость к действиям среды).

Показатель профессиональной долговечности, безотказности водителя – это сохранение высокой работоспособности в течение рабочего дня. Он зависит от:

- качества средств информации (дороги, расположения средств информации в поле зрения водителя, дорожных знаков и указателей, средств оптического ориентирования водителя);
- квалификации водителя;
- индивидуальных качеств (состояние органов восприятия, работоспособности, динамики функциональных состояний нервной системы, силы и устойчивости нервной системы).

Приведенному перечню факторов, определяющих высокую работоспособность водителя, могут соответствовать далеко не все водители по своим физиологическим и психологическим возможностям, что необходимо учитывать при выборе деятельности. Так как при управлении автомобилем водители в состоянии сниженной работоспособности допускают серьезные ошибки, которые приводят к ДТП.

Снижение работоспособности водителей, как правило, происходит в результате утомления, употребления алкоголя, недомогания, приема определенного перечня лекарств и курения.

Утомление, сопровождается изменениями в организме человека. Увеличивается время реакции, скорость переработки, принятие решений. Снижается продуктивность качеств памяти и внимания. Чем выше степень утомления, тем больше возникает предаварийных ситуаций [3, 4]. Это обуславливает актуальность исследования вопроса о причинах утомления и сохранения высокой работоспособности в пределах установленных норм времени. Исследование данного вопроса позволит реализовать разработку мероприятий по снижению риска утомления, выявлению причин неправильных управляющих действий транспортным средством или их отсутствию, например в случае засыпания за рулем. Это, в свою очередь, позволит создать условия поддержания высокой работоспособности и повышения безопасности дорожного движения (БДД).

2 Материалы и методы

Пассажирские автобусы являются транспортом повышенной опасности, так как перевозят большое количество пассажиров. Попадая в ДТП, они подвергают опасности пассажиров с высокой степенью тяжести последствий.

В Воронежской области за 2023 год с участием автобусов произошло 193 ДТП, погибло 17 человек и 248 человек было ранено. За последние пять лет количество ДТП с участием автобусов выросло.

Воронежская область вошла в список из 40 регионов России, «неблагополучных» с точки зрения безопасности движения в части несоблюдения скоростного режима. Основные виды ДТП на пассажирском транспорте в Воронежской области за 2023 год представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные виды ДТП на пассажирском транспорте в Воронежской области за 2023 г.

Вид нарушения	В относительных единицах, %
Несоблюдение дистанции	52
Превышение скорости	14
Проезд на запрещающий сигнал светофора	4
Нарушение правил перестроения	23
Прочие нарушения	7

Из анализа причин нарушений ПДД можно сделать вывод о дисциплине водителей. Неподчинение указаниям дорожных знаков – основная причина нарушений.

Из распределения по видам нарушений ПДД видны причины аварийных ситуаций на дорогах – невнимательность водителей, потеря бдительности, рассеянность, усталость, когда человек не может полностью контролировать свои действия.

В последнее время на дорогах все чаще образуются заторы, и водители вынуждены торопиться с целью перекрыть время простоя в заторах, чтобы уложиться в график по количеству рейсов за смену. Это приводит к нарушениям: несоблюдению дистанции; нарушению правил перестроения и т. д. Таким образом, при возникновении неожиданной ситуации на дороге, например, резкого торможения, впереди едущего транспортного средства им не хватает дистанции для полного торможения, что приводит к аварийной ситуации.

Самые аварийные дни недели понедельник, вторник, среда, затем с пятницы начинается спад и воскресенье наименьшее число аварий. Первое объяснение – в выходные дни количество рейсов уменьшается из-за того, что основная масса людей отдыхает, студенты и школьники, тоже не учатся. Количество пассажиров в салоне существенно снижается, интенсивность движения в городе и за городом также уменьшается. У водителя от снижения помех на дорогах и более стабильного графика движения нормализуются эмоциональное напряжение, концентрация внимания, реакция на раздражители.

Понятие о работоспособности предполагает качественное выполнение работы в течение определенного времени, обычно в течение рабочего дня. Для водителя качественные показатели деятельности – это безаварийная работа или безошибочное управление транспортным средством на протяжении не более 9 часов.

На качественные показатели деятельности водителя влияют следующие факторы:

- характер воспринимаемой информации (объем и скорость поступающей информации);
- инженерное оборудование дорог;
- атмосфера или микроклимат в кабине;
- психологические и физические свойства организма;
- обученность и тренированность;
- возрастные характеристики водителя;
- самочувствие перед рейсом и в течение рабочего дня.

Самое большое количество ДТП происходит, когда водитель за рулем находится в течение 12 часов и более. Выносливость отдельных водителей позволяет управлять автомобилем до 12 часов, сохраняя безопасность на дорогах. Злоупотребление этим приводит к накоплению усталости, которая может перейти в переутомление и к возможному наступлению критического момента, когда для восстановления состояния бодрости придется пройти курс лечения.

Распределение ресурса работоспособности водителя, управляющего транспортным средством в течение рабочего дня, зависит от состояния водителя и имеет «фазность»:

1 фаза – время вработываемости – от 1 до 1,5 ч.;

2 фаза – время оптимального состояния водителя – от 2 до 2,5 ч.;

3 фаза – время наступающего утомления – через 3-4 часа после начала управления ТС, после чего рекомендуется сделать обеденный перерыв от 45 минут до 1 часа.

После обеденного перерыва водителю необходимо время для вработывания в рабочий процесс в течение от 1 до 1,5 часа, затем – стабильное продуктивное управление в течение 2-2,5 часа, после чего наступает утомление от рабочей смены.

Отсутствие или несоответствие требованиям к деятельности водителя приводит к более быстрому наступлению состояния утомления. Утомление бывает эмоциональным, физическим и умственным. У водителя все виды утомления взаимосвязаны, он постоянно принимает решения (умственная работа), а затем совершает управляющие действия ТС (физическая работа). Эмоциональное утомление заключается в том, что водитель постоянно реагирует на многочисленные внешние раздражители на дороге (пешеходы, пассажиры, технические дорожные системы).

Зависимость степени утомления от продолжительности рабочей смены, прямо пропорционально, чем дольше рабочий день, тем выше утомляемость, тем большая вероятность создание аварийной ситуации. Водитель в состоянии утомления совершает гораздо больше ошибок.

Для исключения ситуаций управления ТС в состоянии некомпенсированного утомления и профилактики переутомления, разработано «Положение о труде и отдыхе», последняя редакция с изменениями, утверждена приказом Минтранса от 16.10.2020 года.

3 Результаты исследований

Исследования влияния длительности пребывания на маршруте водителей, проведенные на отдельных маршрутах городских автобусов предприятия АО «ВПАТП № 3» г. Воронежа показали, что создание до 12 % аварийных ситуаций происходит по причине утомления водителей.

Полученные результаты исследования по предприятию АО «ВПАТП № 3» г. Воронежа показаны на рис. 1. Распределение количества ДТП по часам работы водителя на маршруте подтолкнули к дальнейшему изучению влияния длительности управления на изменение работоспособности водителя.

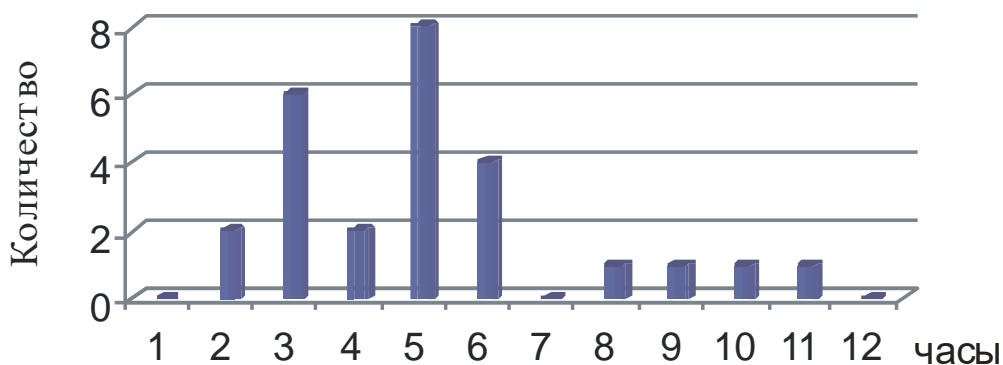


Рисунок 1 – Распределение количества ДТП по часам работы водителя на маршруте

Исследования зависимости времени реакции от продолжительности работы показали, что время реакции водителя выше в так называемый период вработываемости (в среднем вхождение в рабочий ритм составляет 1,5 часа), и также увеличивается от продолжительности работы вследствие наступающего утомления (рис. 2).

На снижение работоспособности водителя влияет и алкогольное опьянение. В РФ по причине управления в состоянии алкогольного опьянения совершается более 10 % ДТП.

Больше всего водители и их безопасность страдают от хронических заболеваний, свойственных профессии водителя: язвенная болезнь, неврозы, бронхи.

Сохранять здоровье, что важно любому человеку, для водителя тем более важно, так как автомобиль – это «оружие в руках».

Утомление влияет на протекание психологических процессов: мышление, память, восприятие и т. д. При внезапном изменении дорожной обстановки, требующей быстрого реагирования (принятие решения, управляющих действий), водитель теряет способность точного координирования действий, немедленной реакции и появляется нарушение (заторможенность в принципе) всех психических процессов в организме человека.

Утомление, которое оказывает активное влияние на работоспособность водителя, изменяет психическое эмоциональное состояние водителя.



Рисунок 2 – Зависимость времени реакции от продолжительности работы

Вероятность совершения ДТП возрастает в разы, когда водитель находится на грани истощения своих эмоциональных и физических сил. Утомление и переутомление – это сопутствующие причины неправильной организации труда, вредных привычек водителя и признаков его нездоровья, причем как физического, так и психического.

Уровень утомляемости водителя ТС влияет на качество работоспособности, т. е. на восприятие дорожной обстановки, анализ воспринимаемой информации, и, в конечном итоге, на решение по управляющим действиям ТС. Это характерно для любого оператора, работающего в системе «Человек - Машина».

Взаимосвязь психофизиологических показателей определяется системами кровообращения и дыхания, сердечным ритмом и т. д., влияющими на утомление водителя, которые снижают показатели продуктивности деятельности водителя, остроту зрения, (сужается и поле зрения). В результате оценка расстояний до объектов на дороге и скорости их движения ухудшается. Нарушения кровообращения и работы сердца ухудшают характеристики работы мозга, это замедляет принятие решения и увеличивает время сенсомоторной реакции. Сбой дыхания от непредсказуемых ситуаций на дороге и другие патологические изменения отрицательно влияют на все качества внимания (переключаемость, интенсивность, устойчивость, активность, направленность).

Продолжительность выполнения задания зависит от развития утомляемости. Количество ошибок от невнимательности также прогрессирует. Например, замедленная переключаемость внимания приводит к опасным ситуациям, потому что водитель не может выделить второстепенную и главную информацию.

Под эмоциональной напряженностью обычно понимают длительное изменение нервно-психического тонуса, настроения.

Продолжительное состояние эмоциональной напряженности, которое испытывает водитель при управлении ТС, влияет на скорость переработки информации, так как наступает утомление, что приводит к изменению частоты пульса и соответственно к увеличению времени на принятие решения. Наиболее ярко эмоциональная напряженность проявляется в сложных и опасных для жизни ситуациях.

Интенсивность движения транспортных средств на дорогах также влияет на развитие утомления, возрастает постоянная готовность к действиям при неожиданном изменении дорожной обстановки. Информационная нагрузка влияет на темп работы, и соответственно повышается эмоциональная напряженность водителя.

Приспособление психологических функций к рабочей деятельности водителя обеспечивает высокий уровень работоспособности и соответствующие качества труда. Внешним выражением приспособления организма к работе является изменение физических показателей работоспособности, которая устанавливается на определенный отрезок времени. Например, динамика изменения качеств внимания водителя совпадает с динамикой изменения скорости потока информации, которую водитель воспринимает. С ростом продолжительности рабочей смены продуктивность работоспособности снижается.

Исследования и анализ полученных опытных данных показал, что даже на стадии оптимальной работоспособности не удается добиться полной устойчивости внимания водителей в течение длительного периода времени. Это связано с тем, что вниманию характерны свои недостатки: склонность к автоматизму, инертности, флуктуации.

Тяжесть и утомленность определяются следующими факторами: затратой физических усилий; напряжением внимания; темпом работы; монотонностью труда; рабочим положением; температурой и влажностью среды; запыленностью и загрязненностью воздуха. При этом суммарное воздействие нескольких факторов увеличивает степень утомления в несколько раз.

Проведенные исследования изменения времени реакции водителя при различной степени утомления показаны в табл. 2.

Исследования влияния интенсивности движения и утомления на среднее значение времени реакции на двухполосных дорогах с интенсивностью более 400 авт/ч (или 200 авт/ч в одном направлении), показали, что стабильное состояния водителя приходится на периоды с 3-го по 5-й и с 7-го по 8-й часы работы водителя.

Таблица 2 – Результаты работы водителя от часов работы

Интенсивность встречного движения, авт/ч	Математическое ожидание времени реакции водителя, с	Среднеквадратическое отклонение, с	Интенсивность встречного движения, авт/ч	Математическое ожидание времени реакции водителя, с	Среднеквадратическое отклонение, с
3-5 часов работы водителя			7-8 часов работы водителя		
75-150	1,18	0,152	80-140	1,28	0,265
180-250	1,21	0,135	180-250	1,25	0,210
350-500	1,22	0,141	340-500	1,35	0,238

4 Обсуждение и заключение

Любая профессия связана с риском получения профессионального заболевания. Однако профессия водителя является очень рискованной и опасной. Во-первых, это ежедневный риск оказаться в аварийной ситуации с непредсказуемыми последствиями. Утомление влияет на протекание психологических процессов: мышление, память, восприятие и т. д. При внезапном изменении дорожной обстановки, требующей быстрого реагирования (принятие решения, управляющих действий), водитель теряет способность точного координирования действий, немедленной реакции и появляется нарушение (заторможенность в принципе) всех психических процессов в организме человека.

Во-вторых, профессия сопровождается наличием профессиональных заболеваний, которые свойственны этой профессии:

- заболевания опорно-двигательного аппарата, в связи с практической неподвижной позой водителя на протяжении длительного времени при управлении ТС;
- заболевания сердечно-сосудистой системы из-за нарушения кровообращения, длительного пребывания в позе сидя;
- заболевания от воздействия механических колебаний (вибрационные заболевания) из-за работы двигателя ТС;

– заболевания от эмоционального напряжения из-за быстро сменяющейся обстановки на дороге;

– заболевания желудочно-кишечные.

Для профилактики необходимо: соблюдать режим труда и отдыха; отказаться от вредных привычек (курение и алкоголя); заниматься активно спортом, бывать на свежем воздухе, использовать правильное сбалансированное питание.

Список литературы

1 Климова Г. Н. Влияние организации дорожной обстановки на психологические возможности водителя [Текст] / Г. Н. Климова, С. А. Ширяев, С. С. Вenevitina, А. Ю. Артемов, В. В. Разгоняева, А. В. Школьных // Развитие современной науки и технологий транспортных процессов: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж. – 2024. – С. 66-72.

2 Климова Г. Н. О стабилизации психофизиологического состояния водителя при управлении транспортным средством [Текст] / Г. Н. Климова, В. А. Зеликов, Ю. В. Струков, С. В. Внукова, В. В. Разгоняева, И. Ю. Струкова // Наука и инновации в современном мире: материалы Национальной научно-практической конференции. Воронеж. – 2024. – С. 30-34.

3 Зеликов В. А. Анализ факторов, отражающих поведение водителей в сложной дорожной обстановке [Текст] / В. А. Зеликов, Ю. В. Струков, Г. Н. Климова, Г. А. Денисов, С. В. Внукова, Э. А. Черников, В. В. Разгоняева // Воронежский научно-технический вестник. – 2024. – Т. 3, № 3 (49). – С. 41-52.

4 Климова Г. Н. Разработка алгоритма повышения работоспособности водителей на основе анализа показателей их психофизиологического состояния [Текст] / Г. Н. Климова, В. В. Разгоняева, Ю. В. Струков, Г. А. Денисов, В. В. Стасюк, Э. А. Черников, В. А. Зеликов // Грузовик. – 2022. – № 3. – С. 24-31.

References

1 The influence of the organization of the traffic situation on the psychological capabilities of the driver [Text] / G. N. Klimova, S. A. Shiryaev, S. S. Venevitina, A. Yu. Artemov, V. V. Razgonyaeva, A. V. Shkolnykh // Development of modern science and technology of transport processes: materials of the All-Russian scientific and practical conference. Voronezh. 2024. pp. 66-72.

2 On the stabilization of the psychophysiological state of the driver when driving a vehicle [Text] / G. N. Klimova, V. A. Zelikov, Yu. V. Strukov, S. V. Vnukova, V. V. Razgonyaeva, I. Yu. Strukova // Science and innovation in the modern world: materials of the National scientific and practical conference. Voronezh. 2024. pp. 30-34.

3 Analysis of factors reflecting the behavior of drivers in difficult traffic situations [Text] / V. A. Zelikov, Yu. V. Strukov, G. N. Klimova, G. A. Denisov, S. V. Vnukova, E. A. Chernikov, V. V. Razgonyaeva // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. - 2024. - Vol. 3, No. 3 (49). - P. 41-52.

4 Development of an algorithm for improving the performance of drivers based on the analysis of indicators of their psychophysiological state [Text] / G. N. Klimova, V. V. Razgonyaeva, Yu. V. Strukov, G. A. Denisov, V. V. Stasyuk, E. A. Chernikov, V. A. Zelikov // Truck. - 2022. - No. 3. - P. 24-31.

© Зеликов В. А., Климова Г. Н., Денисов Г. А., Струков Ю. В.,
Внукова С. В., Стородубцева Т. Н., Черников Э. А., 2025

DOI: 10.34220/2311-8873-2025-104-113



УДК 656.09, 656.021, 625.096

UDC 656.09, 656.021, 625.096

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

**РОЛЬ ТЕХНОЛОГИИ СВЯЗИ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ
В ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**THE ROLE OF INTELLIGENT VEHICLE
COMMUNICATION TECHNOLOGY
IN INCREASING ROAD SAFETY**

✉¹ **Феофилова Анастасия Александровна**,
к.т.н., доцент кафедры организации перевозок
и дорожного движения, Донской государ-
ственный технический университет, г. Ростов-
на-Дону, e-mail: feofilowa@mail.ru

✉¹ **Feofilova Anastasia Aleksandrovna**,
candidate of technical sciences, associate professor of
the department of organization of transportation and
road traffic, Don state technical university, Rostov-
on-Don, e-mail: feofilowa@mail.ru

Хуан Лэй,
к.т.н., магистрант кафедры организации пере-
возок и дорожного движения, Донской госу-
дарственный технический университет, г. Ро-
стов-на-Дону, e-mail: 13129801652@qq.com

Huang Lei,
candidate of technical sciences, master's student at the
department of transportation and traffic organization,
Don state technical university, Rostov-on-Don,
e-mail: 13129801652@qq.com

Зеликов Владимир Анатольевич,
д.т.н., доцент, заведующий кафедрой организа-
ции перевозок и безопасности движения, Во-
ронезский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж,
e-mail: zelikov-vrn@mail.ru

Zelikov Vladimir Anatolyevich,
doctor of technical sciences, associate professor,
head of the department of organization of trans-
portation and traffic safety, Voronezh state for-
estry university named after G.F. Morozov,
Voronezh, e-mail: zelikov-vrn@mail.ru

Аннотация. Характеристики подключенных к связи C-V2X транспортных средств в основном включают в себя реальное время передвижения, безопасность и стабильность. Однако присутствуют некоторые дефекты связи и нестабильные факторы, влияющие на связь между транспортными средствами в кооперативных ИТС: замирание связи, временная задержка, потеря пакетов, прерывание, вредоносные сетевые атаки и т.д. Изучение и моделирование факторов нестабильности связи между транспортными средствами в кооперативных ИТС может помочь повысить как безопасность движения подключенных транспортных средств, так и точность моделирования дорожного движения.

Annotation. The characteristics of connected vehicles mainly include real time, security and stability, but there are some defects and unstable factors affecting vehicle-to-vehicle communication (communication freeze, time delay, packet loss, interruption, malicious network attacks, etc.). Studying and modeling the instability factors of vehicle-to-vehicle communication can help to improve the safety of connected vehicles and the accuracy of traffic simulation.

Ключевые слова: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ, MATLAB, C-V2X, МОДЕЛЬ СЛЕДОВАНИЯ, ОСЛАБЛЕНИЕ СИГНАЛА. **Keywords:** ITS, MATLAB, C-V2X, FOLLOWING MODEL, SIGNAL ATTENUATION.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Современная организация дорожного движения требует особой степени осведомленности. Развитие технологий интеллектуальных транспортных систем (ИТС) приводит к тому, что внимание уделяется не транспортному потоку в его нынешнем виде, а отдельному водителю (транспортному средству). Необходимо отслеживать не только действия самого автомобиля, но и окружающую дорожную обстановку.

Подсистема Кооперативной ИТС, основанная на технологии V2X обеспечивает выполнение функций взаимодействия [1]:

- транспортное средство – транспортное средство (V2V);
- транспортное средство – инфраструктура кооперативной ИТС (V2I);
- транспортное средство – сеть электронных коммуникаций (V2N);
- транспортное средство – пешеход (V2P)
- транспортное средство – устройство (V2D);
- транспортное средство – электрическая сеть для подзарядки автомобиля (V2G).

Данный список не является исчерпывающим и может быть расширен с появлением новых технологических и технических решений, которые определяют функциональные возможности ИТС.

Выделяются группы потребностей пользователей ИТС во взаимосвязи с функциями взаимодействия транспортных средств в условиях подсистемы V2X, представленные в табл. 1.

Таблица 1 – Группы потребностей пользователей

№	Группа потребностей пользователей	Функции взаимодействия транспортного средства
1	Управление дорожным движением	V2V, V2I, V2N, V2P, V2D, V2G
2	Управление общественным транспортом	V2V, V2I, V2N, V2P, V2D, V2G
3	Управление дорожным движением в условиях катастроф и чрезвычайных ситуаций	V2V, V2I, V2N, V2D
4	Транспортное информирование	V2V, V2I, V2N, V2P, V2D, V2G
5	Планирование развития инфраструктуры и обслуживания	V2I, V2N, V2G
6	Нормативно-правовое регулирование	V2V, V2I, V2N, V2P, V2D, V2G
7	Финансовое регулирование	V2I, V2N, V2D, V2G
8	Интеллектуальные транспортные средства	V2V, V2I, V2N, V2P, V2D, V2G
9	Грузовые операции	V2V, V2I, V2N, V2D, V2G

Требования к подсистеме V2X разделяются с точки зрения потребностей пользователей к функциям прямого исполнения действий на основании анализа полученных данных и исполнение действий, основанных на прогнозировании ситуаций на основании анализа полученных и исторических данных.

Требования к подсистеме кооперативных ИТС, основанных на технологии V2X, с точки зрения подключенных автомобилей обуславливаются уровнем развития технологий и технических решений и заключаются в том, что подсистема должна:

- быть способна предупреждать водителя при обнаружении отсутствия бдительности;

- быть способна информировать другое транспортное средство, когда принимающее транспортное средство обнаруживает, что столкновение неизбежно;
- обеспечивать поддержку для автоматического управления боковым динамическим поведением транспортного средства и удержания транспортного средства в пределах его текущей полосы движения на проезжей части;
- обеспечивать водителю информационную поддержку или активную поддержку рулевого управления, чтобы помочь ему/ей оставаться в пределах текущей полосы движения проезжей части;
- обеспечивать поддержку для предупреждения водителя, если принимающее транспортное средство движется в направлении объема дорожного пространства, который будет занят или уже занят другим участником дорожного движения.

Для решения задачи повышения безопасного вождения в условиях развития кооперативных ИТС необходимо обеспечить предоставление ИТС следующих пакетов услуг, основанных на информационных процессах:

- системы безопасности автономных транспортных средств – пакет услуг, повышающий безопасность автомобиля с помощью бортовых датчиков, контролирующих окружающую дорожную обстановку. Поддерживаются все уровни автоматизации вождения – от базовых систем предупреждения, до полной автоматизации;
- ситуационной осведомленности – пакета услуг ИТС, позволяющего подключенным автомобилям обмениваться информацией об обстановке даже в тех местах, где отсутствует придорожная инфраструктура связи, а также в случае востребованности уведомления за пределами диапазона связи *Dedicated Short-Range Communications (DSRC)*;
- V2V базовой безопасности – пакета услуг ИТС, в которых происходит обмен базовыми сообщениями безопасности с окружающими подключенными автомобилями для поддержки и дополнения функций предупреждения о безопасности и автоматизации управления. Этот обмен поддерживает приложения безопасности подключенных автомобилей: распознавание и предупреждение о включенных аварийных сигналах ведомого транспортного средства, предупреждение о столкновении при движении вперед, предупреждение о слепых зонах/смене полосы движения, помощь при движении на перекрестке, помощь при повороте налево и другие.

В среде V2X подключенные автомобили оснащены современными коммуникационными устройствами, и передача информации между автомобилями в режиме реального времени может осуществляться посредством различных технологий связи, что помогает водителям или программе (в случае беспилотного автомобиля) принимать решения, и в определенной степени, повышает безопасность движения.

Использование данных от подключенных автомобилей позволяет ускорить обмен информацией между водителями и остальными участниками дорожного движения, что также способствует повышению безопасности на дорогах [2]. В качестве примера можно привести китайскую технологию C-V2X (*Cellular Vehicle-to-Everything*), которая в настоящее время является предметом активных исследований. Это система беспроводной связи для транспортных средств, основанная на эволюции сотовых технологий, включая 4G и 5G. На ее основе могут быть разработаны сервисы интеллектуальной транспортной системы, обеспечивающие комплексную связь и оперативное информационное взаимодействие между транспортными средствами, дорожной инфраструктурой, базовыми станциями и облачными платформами [3-7].

Ожидается, что эта технология позволит устранить до 80 % текущих дорожно-транспортных происшествий, благодаря более точному и своевременному обмену данными между всеми элементами транспортной системы [8-10].

Сущность технологии связи между транспортным средством и автомобилем дает множество преимуществ для управления подключенными транспортными средствами, но нельзя игнорировать тот факт, что некоторые неопределенности (например, потеря пакетов или временная задержка) и характеристики канала связи (например, ограничение пропускной способности)

существующей технологии связи *DSRC (Dedicated Short-Range Communications)* могут снизить точность управления подключенными к кооперативным ИТС транспортными средствами и повлиять на безопасность вождения. Поэтому необходимо изучить влияние задержки связи, потери пакетов и других факторов на поведение интеллектуальных транспортных средств [11-14].

2 Материалы и методы

Начальным этапом изучения является поиск и построение модели следования автомобиля за подключенным самоуправляемым автомобилем в кооперативных ИТС. Схема взаимодействия подключенных автомобилей для изучения модели следования представлена на рис. 1.

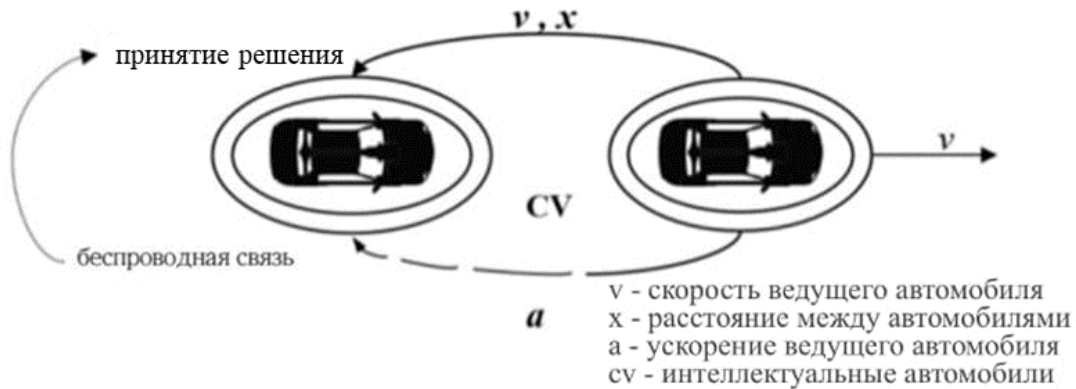


Рисунок 1 – Схема модели следования автомобиля с сетевым соединением

Чтобы изучить влияние потери и задержки пакетов данных на движение подключенного к кооперативным ИТС транспортного средства, была создана модель потери ускорения интеллектуальных транспортных средств *AIDM*, основанная на модели следования за лидером *Intelligent driver model (IDM)*, учитывающая влияние ухудшения производительности передачи данных в реальной дорожной среде, и большей степени, соответствующая характеристикам движения транспортного средства в среде *V2X*.

Первоначальная модель *IDM* [15, 16] представлена уравнением в виде:

$$a_s = a_m \left[1 - \left(\frac{v_s}{v_0} \right)^\delta - \left(\frac{s_0 + v_s T + v_s \Delta v (2\sqrt{a_m b})^{-1}}{\Delta x - l} \right)^2 \right] \quad (1)$$

где a_s – ускорение ведомых транспортных средств, m/c^2 ; a_m – максимальное ускорение автомобиля m/c^2 ; v_0 – ожидаемая скорость, m/c ; v_s – скорость ведомых транспортных средств m/c ; δ – индекс ускорения транспортного средства; s_0 – интервал времени между автомобилями от заднего бампера автомобиля лидера и переднего бампера ведомого автомобиля, c ; T – безопасный интервал времени между автомобилями, измеренный по передним бамперам, c ; Δv – разница в скорости между соседними следующими автомобилями, m/c ; Δx – пройденное расстояние, m ; b – ожидаемое замедление, m/c^2 ; l – длина автомобиля, m .

Учет эффекта потери пакетов данных и временной задержки представляется возможным вести через модель потери ускорения подключенного автомобиля.

Модель потери ускорения подключенного к кооперативным ИТС автомобиля имеет вид [1]:

$$a_{loss}(t) = 10 \cdot \gamma \cdot \lg \left(\frac{\Delta x_n(t)}{x_0} \right) + \xi \quad (2)$$

где $a_{loss}(t)$ – величина затухания сигнала ускорения от переднего транспортного средства к заднему транспортному средству на расстоянии, равном $\Delta x_n(t)$ между передним транспортным средством и задним транспортным средством в момент времени t ; x_0 – относительное расстояние до точки привязки, определяемое как минимальный следующий интервал, м; γ – экспоненциальный коэффициент потери ускорения, который в основном зависит от продолжительности движения, типа транспортного средства и пространственной дорожной обстановки; ξ – случайная ошибка (в калькуляции).

Подставляя $x_0 = 1$ м в уравнение и игнорируя случайную ошибку, получаем адаптированную модель *AIDM* (*Advanced Intelligent Driver Model*) в виде:

$$a_{loss}(t) = \gamma \cdot \lg(\Delta x_n(t)) + \xi \quad (3)$$

После усовершенствования модели следования *IDM* на основе модели *AIDM*, модель следования интеллектуального подключенного транспортного средства будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} a_n(t + T) = a_{IDM} + a_{n-1}(t) + a_{loss}(t) \\ v_n(t + T) = v_n(t) + a_n(t + T) \cdot T \end{cases} \quad (4)$$

где a_{IDM} – значения ускорения, рассчитанные с помощью модели *IDM*, м/с²; $a_{n-1}(t)$ – значение ускорения переднего автомобиля в момент времени t ; T – интервал обновления, с; $a_n(t + T)$ – обновленные значения ускорения движения для автомобилей, подключенных к сети связи в ИТС; $v_n(t + T)$ – обновленные значения скорости движения для автомобилей, подключенных к сети связи в кооперативных ИТС.

В результате фактической калибровки γ (экспоненциального коэффициента потери ускорения) было установлено [17], что для транспортного средства с технологией *C-V2X* его значение составляет 1,9, в то время как для других транспортных средств с технологией *DSRC* и т. д. скорость потери пакетов данных и задержка данных значительно выше.

3 Результаты исследований

Таким образом, в данной статье авторами рассматривается влияние технологии связи на безопасность движения посредством изменения значений экспоненциального коэффициента потери ускорения γ .

Для этого была использована программа *MATLAB* для расчета параметров модели *AIDM*. Основными изучаемыми параметрами организации и безопасности дорожного движения в условиях кооперативных ИТС с различными технологиями связи явились: скорость и ускорение ведомого автомобиля, вероятное время до столкновения (*time to collision, TTC*) [18] между подключенными по связи *C-V2X* или *DSRC* автомобилями.

Исходные данные для изучения модели *AIDM* приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Исходные данные для изучения модели *MAIDM*

Параметр	Значение
Максимальное ускорение	2 м/с ²
Ожидаемая скорость	30 м/с
Безопасная дистанция между автомобилями	2 секунды
Шаг времени	0,1 секунды
Общее время моделирования	10 секунд
Скорость переднего автомобиля	30 м/с
Начальное расстояние до переднего автомобиля	10 м

Определение изучаемых параметров организации и безопасности дорожного движения проводилось в условиях изменения экспоненциального коэффициента потери ускорения от начального, равного 1,9 в сторону увеличения его значений: 2,3, 2,7, 3,1, соответствующих продвинутым технологиям связи *C-V2X*, *5G*, а также в сторону уменьшения его значений: 1,5, 1,1 и 0,7, соответствующих текущим технологиям связи *DSRC*.

В ходе моделирования на каждом временном шаге регистрировались скорость, ускорение и значения *TTC* автомобиля. Полученные результаты представлены на рис.2-4:

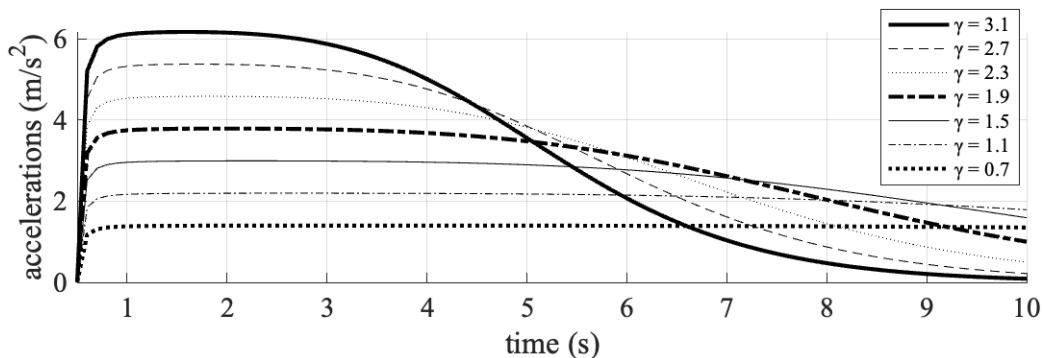


Рисунок 2 – Изменение ускорения ведомого автомобиля в различных технологиях связи

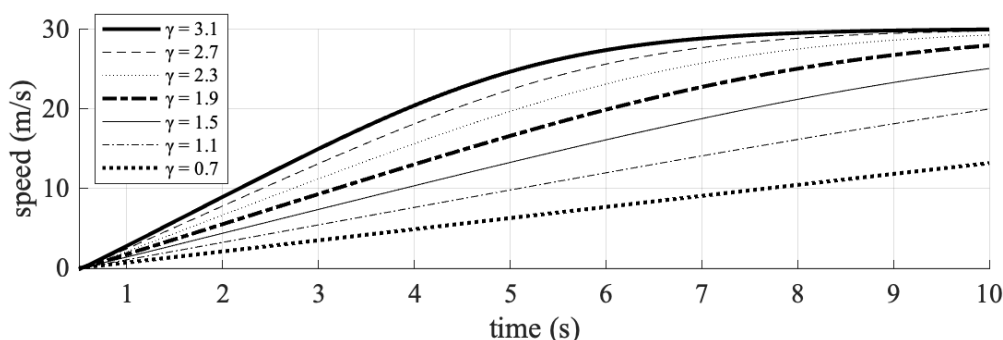


Рисунок 3 – Изменение скорости движения ведомого автомобиля в различных технологиях связи

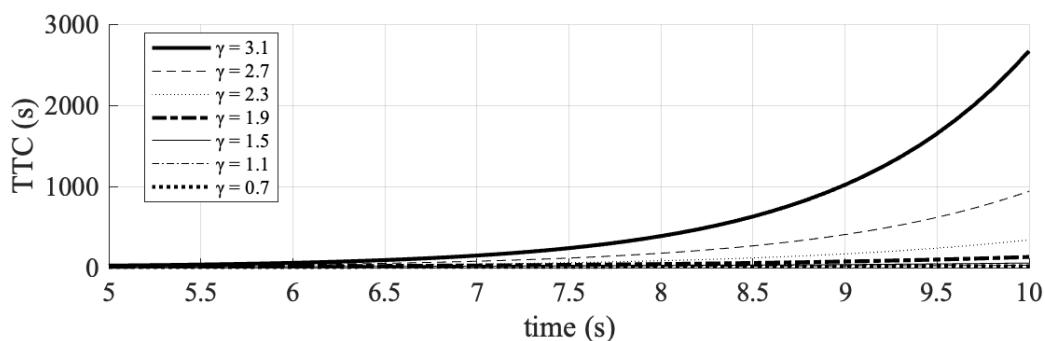


Рисунок 4 – Изменения значений *TTC* в различных технологиях связи

Результаты моделирования показывают, что различные значения экспоненциального коэффициента потери ускорения γ существенно влияют на безопасность движения автомобиля. В случае значения коэффициента, равного 3,1 значение *TTC* для подключенного автомобиля выше, что указывает на сохранение более безопасной дистанции следования.

Также для оценки безопасности движения подсчитывалось количество конфликтов – событий с ТТС менее 2 секунд, указанное в табл. 3.

Таблица 3 – Количество конфликтов при различных значениях

Коэффициент потери ускорения (γ)	Количество конфликтов
3.10	18
2.70	19
2.30	19
1.90	20
1.50	20
1.10	21
0.70	22

Оценить эффективность использования технологии связи *C-V2X* в условиях движения нескольких транспортных средств представляется возможным посредством моделирования дорожного движения в программе *SUMO*. Так как *SUMO* – это портативный пакет моделирования микроскопического и непрерывного мультимодального движения с открытым исходным кодом, то в алгоритмах программы необходимо прописать модели *AIDM* для беспилотных автомобилей, особенно в условиях их кооперативного движения. Для моделирования были выбраны места слияния основной магистрали и примыкающей автомобильной дороги магистрали Пекин-Шанхай в городе Цзинань общей протяженностью 12 километров, включающий 4 развязки. Изучаемый участок имеет расчетную скорость 60 км/ч, магистраль первого класса с четырьмя полосами для движения в одну сторону и примыкающую автомобильную дорогу с одной полосой движения (рис. 5).



Рисунок 5 – Рассматриваемый участок автомобильной дороги (снимок с экрана)

На сегодняшний день доля беспилотных автомобилей в составе транспортного потока на дорогах мира остается относительно низкой. В связи с чем рассматриваются сценарии моделирования дорожного движения, предусматривающие увеличение доли автономных транспортных средств в общем потоке: 0 %, 25 %, 30 %, 60 %, использующих связь в технологии C-V2X. Интенсивность движения транспортных средств на рампе в зоне контроля (250 метров) составляют 300 авт/ч.

Оценка изменения значений времени до столкновения, *TTC*, проводилось для транспортных средств, движущихся по рампе (рис. 6). Результаты моделирования по сценариям представлены в табл. 4.

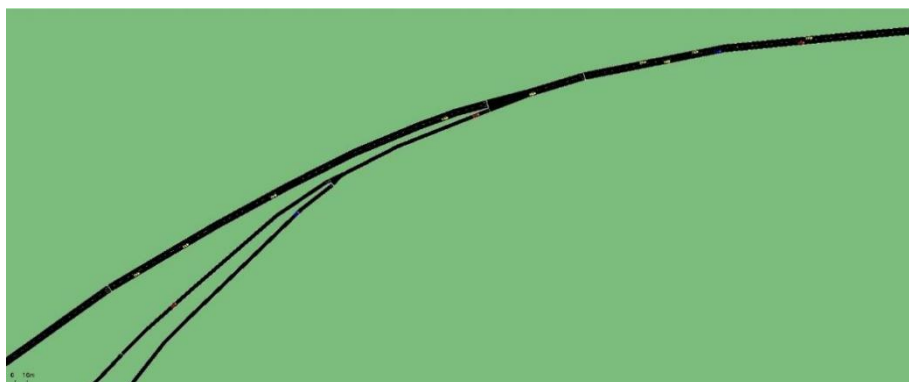


Рисунок 6 – Рассматриваемый участок автомобильной дороги в модели дорожного движения *SUMO* (снимок с экрана)

Таблица 4 – Результаты моделирования экспериментов по сценариям

Оцениваемый показатель	Доля беспилотных автомобилей в потоке, %			
	0	25	30	60
<i>TTC</i> , с	172	140	121	97
Среднее время проезда участка, с	27	21	20	19
Плотность движения, ед/ч	62	54	52	33

Анализ данных из табл. 4 показывает, что увеличение доли беспилотных транспортных средств в транспортном потоке значительно снижает число конфликтных ситуаций и уменьшает среднее время проезда участка.

4 Обсуждение и заключение

Результаты показывают, что потеря и задержка пакетов данных, вызванная различными технологиями связи в кооперативных ИТС, оказывает значительное влияние на безопасность движения подключенных автомобилей. Более высокое значение коэффициента потери ускорения γ , характерное для связи в технологии C-V2X, 5G, показывают эффективность поддержания безопасной дистанции между автомобилями, что снижает риск столкновения.

Тем не менее, на безопасность движения могут влиять и другие факторы, такие как поведение впереди идущего автомобиля, интенсивность дорожного движения и доля подключенных и беспилотных автомобилей в транспортном потоке [19, 20]. Поэтому в будущих исследованиях следует учитывать более сложные дорожные условия и поведение водителей, чтобы еще больше повысить точность и практичность моделирования дорожного движения для оценки влияния технологий связи подключенных транспортных средств как на безопасность, так и на эффективность дорожного движения.

Список литературы

- 1 ГОСТ Р 56829-2015. Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 10 с.
- 2 Talebpour, A., Mahmassani, H., & Bustamante, F. (2016). Modeling Driver Behavior in a Connected Environment: Integrated Microscopic Simulation of Traffic and Mobile Wireless Telecommunication Systems. TRB.
- 3 Mitra, P., Choudhury, A., Aparow, V. R., Kulandaivelu, G., & Dauwels, J. (2018). Towards Modeling of Perception Errors in Autonomous Vehicles. IEEE Xplore.
- 4 Wang, S., & Li, Z. (2019). Exploring the mechanism of crashes with automated vehicles using statistical modeling approaches. PLOS One.
- 5 Sadid, H., Qurashi, M., & Antoniou, C. (2022). Simulation-based Optimization of Autonomous Driving Behaviors. IEEE Xplore.
- 6 Wang, J., Pant, Y., Zhao, L., Antkiewicz, M., & Czarnecki, K. (2024). Enhancing Safety in Mixed Traffic: Learning-Based Modeling and Efficient Control of Autonomous and Human-Driven Vehicles. IEEE Xplore.
- 7 Yan, X., Feng, S., Sun, H., & Liu, H. X. (2021). Distributionally Consistent Simulation of Naturalistic Driving Environment for Autonomous Vehicle Testing. arXiv.
- 8 B. Y. Yacheur, T. Ahmed and M. Mosbah, "Implementation and Assessment of IEEE 802.11BD for Improved Road Safety," 2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/CCNC49032.2021.9369649.
- 9 M. Karoui, V. Mannoni, B. Denis and S. Mayrargue, "Performance Analysis of V2X-based Systems for Improved Vulnerable Road Users Safety," 2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Macau, China, 2022, pp. 3368-3373, doi: 10.1109/ITSC55140.2022.9921841.
- 10 K. M. Makinaci, T. Acarman and C. Yaman, "Resource Selection for C-V2X and Simulation Study for Performance Evaluation," 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), Helsinki, Finland, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9448905.
- 11 Miqdady, T., de Oña, R., Casas, J., & de Oña, J. (2023). Studying Traffic Safety During the Transition Period Between Manual Driving and Autonomous Driving: A Simulation-Based Approach. IEEE Xplore.
- 12 Abdeen, M. A. R., Yasar, A., Benaida, M., Sheltami, T., Zavantis, D., & El-Hansali, Y. (2022). Evaluating the Impacts of Autonomous Vehicles' Market Penetration on a Complex Urban Freeway during Autonomous Vehicles' Transition Period. Sustainability.
- 13 Wang, K., Qu, D.-Y., Meng, Y., Wang, T., & Yang, Z. (2024). Molecular Dynamics-Based Car-Following Safety Characteristics and Modeling for Connected Autonomous Vehicles. Sustainability.
- 14 Xu, W., Liu, Y., Yi, H., & Liu, G. (2023). Lane-changing decision model for autonomous vehicle under mixed traffic environment. SPIE.
- 15 Hayward, J.C. Near-miss determination through use of a scale of danger. *Highw. Res. Rec.* 1972, 384, 24–34pp.
- 16 Li Jiachen. Modeling and Simulation of Networked Vehicle Followership Considering Acceleration Fading under Unreliable Communication. 2023. Beijing Jiaotong University, MA thesis. doi:10.26944/d.cnki.gbfju.2023.002063.
- 17 Yang A-Ling. Simulation research on driving safety of driverless vehicles in urban environment [D]. Chongqing: Chongqing University, 2020
- 18 Liu, Chunguang, Vladimir Zyryanov, Ivan Topilin, Anastasia Feofilova, and Mengru Shao. 2024. "Investigating the Impacts of Autonomous Vehicles on the Efficiency of Road Network and Traffic Demand: A Case Study of Qingdao, China" *Sensors* 24, no. 16: 5110. <https://doi.org/10.3390/s24165110>
- 19 Феофилова, А. А. Телекоммуникационные стандарты в интеллектуальной дорожно-транспортной инфраструктуре / А. А. Феофилова, О. Ю. Булатова // *Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник.* – 2022. – № 6. – С. 51-55. – DOI 10.36535/0236-1914-2022-06-8.
- 20 Хуан, Л. Технология C-V2X для повышения безопасности дорожного движения в Китае / Л. Хуан // *Актуальные проблемы науки и техники. 2024 : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 19–21 марта 2024 года.* – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2024. – С. 686-688.

References

- 1 GOST R 56829-2015. Intellektual'nye transportnye sistemy. Terminy i opredeleniya
- 2 Talebpour, A., Mahmassani, H., & Bustamante, F. (2016). Modeling Driver Behavior in a Connected Environment: Integrated Microscopic Simulation of Traffic and Mobile Wireless Telecommunication Systems. TRB.

- 3 Mitra, P., Choudhury, A., Aparow, V. R., Kulandaivelu, G., & Dauwels, J. (2018). Towards Modeling of Perception Errors in Autonomous Vehicles. IEEE Xplore.
- 4 Wang, S., & Li, Z. (2019). Exploring the mechanism of crashes with automated vehicles using statistical modeling approaches. PLOS One.
- 5 Sadid, H., Qurashi, M., & Antoniou, C. (2022). Simulation-based Optimization of Autonomous Driving Behaviors. IEEE Xplore.
- 6 Wang, J., Pant, Y., Zhao, L., Antkiewicz, M., & Czarnecki, K. (2024). Enhancing Safety in Mixed Traffic: Learning-Based Modeling and Efficient Control of Autonomous and Human-Driven Vehicles. IEEE Xplore.
- 7 Yan, X., Feng, S., Sun, H., & Liu, H. X. (2021). Distributionally Consistent Simulation of Naturalistic Driving Environment for Autonomous Vehicle Testing. arXiv.
- 8 B. Y. Yacheur, T. Ahmed and M. Mosbah, "Implementation and Assessment of IEEE 802.11BD for Improved Road Safety," *2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, USA, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/CCNC49032.2021.9369649.
- 9 M. Karoui, V. Mannoni, B. Denis and S. Mayrargue, "Performance Analysis of V2X-based Systems for Improved Vulnerable Road Users Safety," *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Macau, China, 2022, pp. 3368-3373, doi: 10.1109/ITSC55140.2022.9921841.
- 10 K. M. Makinaci, T. Acarman and C. Yaman, "Resource Selection for C-V2X and Simulation Study for Performance Evaluation," *2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring)*, Helsinki, Finland, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9448905.
- 11 Miqdady, T., de Oña, R., Casas, J., & de Oña, J. (2023). Studying Traffic Safety During the Transition Period Between Manual Driving and Autonomous Driving: A Simulation-Based Approach. IEEE Xplore.
- 12 Abdeen, M. A. R., Yasar, A., Benaida, M., Sheltami, T., Zavantis, D., & El-Hansali, Y. (2022). Evaluating the Impacts of Autonomous Vehicles' Market Penetration on a Complex Urban Freeway during Autonomous Vehicles' Transition Period. Sustainability.
- 13 Wang, K., Qu, D.-Y., Meng, Y., Wang, T., & Yang, Z. (2024). Molecular Dynamics-Based Car-Following Safety Characteristics and Modeling for Connected Autonomous Vehicles. Sustainability.
- 14 Xu, W., Liu, Y., Yi, H., & Liu, G. (2023). Lane-changing decision model for autonomous vehicle under mixed traffic environment. SPIE.
- 15 Hayward, J.C. Near-miss determination through use of a scale of danger. *Highw. Res. Rec.* 1972, 384, 24–34pp.
- 16 Li Jiachen. Modeling and Simulation of Networked Vehicle Followership Considering Acceleration Fading under Unreliable Communication. 2023. Beijing Jiaotong University, MA thesis. doi:10.26944/d.cnki.gbfju.2023.002063.
- 17 Yang A-Ling. Simulation research on driving safety of driverless vehicles in urban environment [D]. Chongqing: Chongqing University, 2020
- 18 Liu, Chunguang, Vladimir Zyryanov, Ivan Topilin, Anastasia Feofilova, and Mengru Shao. 2024. "Investigating the Impacts of Autonomous Vehicles on the Efficiency of Road Network and Traffic Demand: A Case Study of Qingdao, China" *Sensors* 24, no. 16: 5110. <https://doi.org/10.3390/s24165110>
- 19 Feofilova, A. A. Telekommunikacionnye standarty v intellektual'noj dorozhno-transportnoj infrastrukture / A. A. Feofilova, O. YU. Bulatova // *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik.* – 2022. – № 6. – S. 51-55. – DOI 10.36535/0236-1914-2022-06-8.
- 20 Huan, L. Tekhnologiya S-V2X dlya povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Kitae / L. Huan // *Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. 2024 : Materialy Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii, Rostov-na-Donu, 19–21 marta 2024 goda.* – Rostov-na-Donu: Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2024. – S. 686-688.



2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

АНАЛИТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МАНЁВРОВ «ПЕРЕСТАВКА» И «ДВИЖЕНИЕ ПО УСЕЧЁННОЙ ТРАЕКТОРИИ»

ANALYTICAL COMPARISON OF VEHICLE CONTROL PERFORMANCE WHEN EXECUTING THE "RE-ORDER" AND "MOVEMENT ALONG A TRUNCED TRAJECTORY" MANEUVERS

Молев Юрий Игоревич,

д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины», Нижегородский государственный технический университет, г. Нижний Новгород, e-mail: moleff@yandex.ru

Molev Yuri Igorevich,

doctor of technical sciences, professor of the department of "Construction and road machinery", Nizhny Novgorod state technical university, Nizhny Novgorod, e-mail: moleff@yandex.ru

✉¹ **Черевастов Максим Геннадьевич,**

аспирант кафедры «Строительные и дорожные машины», Нижегородский государственный технический университет, г. Нижний Новгород, e-mail: chermaxim_1978@mail.ru

✉¹ **Cherevastov Maksim Gennadievich,**

postgraduate student of the department of "Construction and road machines", Nizhny Novgorod state technical university, Nizhny Novgorod, e-mail: chermaxim_1978@mail.ru

Лазаревич Светлана Валерьевна,

к.ф.н., заведующий кафедрой «Иностранные языки», Нижегородский государственный технический университет, г. Нижний Новгород, e-mail: s.lazarevich@ntu.ru

Lazarevich Svetlana Valerievna,

candidate of philological sciences, head of the department of "Foreign languages", Nizhny Novgorod state technical university, Nizhny Novgorod, e-mail: s.lazarevich@ntu.ru

Ерофеева Алла Васильевна,

к.п.н., доцент кафедры «Иностранные языки», Нижегородский государственный технический университет, г. Нижний Новгород, e-mail: a.erofeeva@mail.ru

Erofeeva Alla Vasilievna,

candidate of pedagogical sciences, associate professor of the department of "Foreign Languages", Nizhny Novgorod state technical university, Nizhny Novgorod, e-mail: a.erofeeva@mail.ru

Аннотация. Изложены результаты сравнения показателей управляемости автомобилей при выполнении манёвров «переставка» и «движение по усечённой траектории». Показано, что оба манёвра характеризуются таким показателем как величина бокового ускорения. Так как нормирование параметров управляемости (величина бокового перемещения для движения по усечённой синусоиде и скорость выполнения манёвра при переставке) напрямую зависят от максимальной величины бокового ускорения, была установлена взаимо-

Annotation. The results of comparing the controllability indicators of cars when performing the "rearrangement" and "movement along a truncated trajectory" maneuvers are presented. It is shown that both maneuvers are characterized by such an indicator as the magnitude of lateral acceleration. Since the normalization of controllability parameters (the value of lateral displacement for movement along a truncated sine wave and the speed of maneuver execution during rearrangement) directly depend on the maximum value of lateral acceleration, a relationship was established

связь между оценочными показателями данных манёвров. Полученные данные позволили расширить границу применения манёвра «движения по усечённой синусоиде» на автомобили, на которых не установлена система стабилизации курсовой устойчивости, и установить предельные значения перемещения таких автомобилей.

Ключевые слова: УПРАВЛЯЕМОСТЬ, ТРАЕКТОРИЯ, БОКОВОЕ УСКОРЕНИЕ, ОТКЛОНЕНИЕ, «ПЕРЕСТАВКА», «ДВИЖЕНИЕ ПО УСЕЧЁННОЙ СИНУСОИДЕ».

between the estimated indicators of these maneuvers. The data obtained made it possible to expand the scope of the "movement along a truncated sine wave" maneuver for cars that do not have a course stability stabilization system installed and to set limit values for the movement of such cars.

Keywords: CONTROLLABILITY, TRAJECTORY, LATERAL ACCELERATION, DEVIATION, "REARRANGEMENT", "MOVEMENT ALONG A TRUNCATED SINE WAVE".

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Одним из самых распространённых обстоятельств возникновения аварий на дорогах с пострадавшими являются действия водителя, которые классифицируются сотрудниками ГИБДД как «не справился с управлением». При этом повреждения автомобиля возникают либо когда он выехал за пределы полосы движения при прямолинейном движении (ввиду потери устойчивости), либо при выполнении того или иного манёвра (ввиду недостаточной или избыточной управляемости). По статистическим данным только выезд за пределы дороги явился причиной 9,3 % ДТП в первой половине 2024 года, результатом чего явилось 14,4 % погибших. [1]. При этом чёткие критерии причин возникновения данной ситуации, позволяющие определить, имела ли место ошибка водителя или данный процесс был обусловлен конструктивными особенностями транспортного средства, отсутствуют [2-4]. Данная тенденция усугубляется тем, что в настоящее время стандартные требования к управляемости транспортных средств отсутствуют. На международном уровне вступили в действие глобальные технические Правила ООН № 8 (Правила ЕЭК ООН № 140), подразумевающие использование оценки управляемости движения транспортного средства по усечённой синусоиде, однако в нашей стране они не получили широкого распространения, так как их обязательное применение распространяется только на автомобили, оснащённые системами курсовой устойчивости [5]. Соответствие требованиям, установленными данными Правилами для основного парка машин, не требуется. Вместе с тем, распространение действия указанных способов проверки управляемости транспортных средств на автомобили, не оснащённые системами стабилизации курсовой устойчивости, позволило бы гармонизировать требования к управляемости транспортных средств для их допуска к эксплуатации на дорогах.

2 Материалы и методы

Решение данной задачи является возможным при нахождении корреляции между показателями управляемости при выполнении манёвров «движение по усечённой траектории» и «переставка». Так как для выполнения манёвра «переставка» минимально-допустимые требования разработаны [6, 7], то используя полученную корреляцию можно получить и минимально-допустимые требования к выполнению манёвра «движение по усечённой траектории». Для этого необходимо сравнить варианты траекторий движения автомобилей в условиях близких значений величин боковых ускорений [8, 9], например, когда воздействие на управляемые колёса является стандартизированным. Общий вид управляющего воздействия показан на рис. 1.

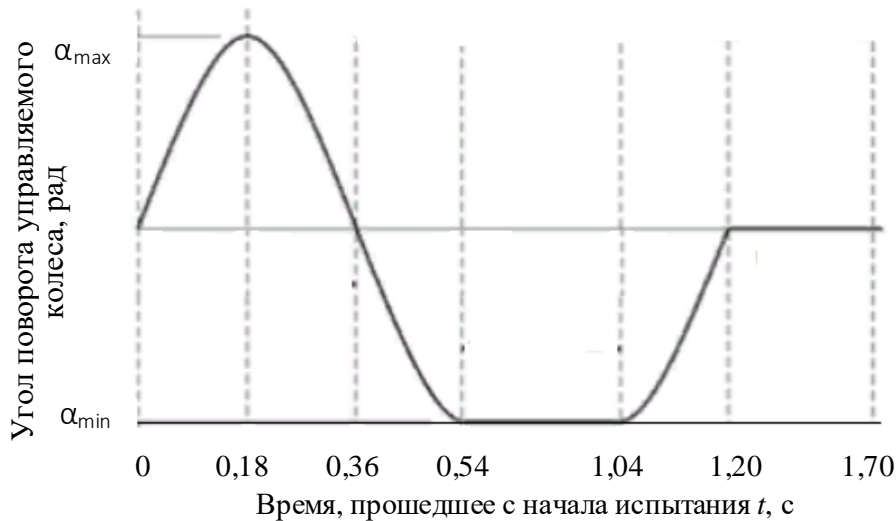


Рисунок 1 – Закон управляющего воздействия на управляемые колёса при испытании на соответствие требованиям глобальных технических Правилам ООН № 8

Максимальный угол поворота управляемых колёс на предварительном этапе испытаний выбирается из условия, что максимальное боковое ускорение автомобиля будет равняться $0,3g$. Тогда для абсолютно-управляемого транспортного средства, движение которого полностью повторяет управляющее воздействие. Параметры движения определяются из выражений:

$$a = V^2/R < 0,3g \rightarrow R > V^2/0,3g = 168 ; R = S / d\alpha = Vdt / d\alpha \rightarrow d\alpha / dt = V / R = 0,1322 ;$$

$$y = V \int_0^{t_i} \sin \alpha(t) dt; \quad x = V \int_0^{t_i} \cos \alpha(t) dt; \quad \alpha(t) = \frac{d\alpha}{dt} t = 0,1322 \cdot 0,18 = 0,024 \text{ рад} ,$$

где a – боковое ускорение транспортного средства, м/с^2 ; V – постоянная горизонтальная скорость движения, равная 80 км/ч или $22,22 \text{ м/с}$, R – радиус кривизны траектории, м ; α – угол поворота управляемых колёс, рад ; t – длительность процесса, с , (согласно рис. 1 взято время, соответствующее амплитудному значению угла поворота $0,18 \text{ с}$); $d\alpha/dt$ – скорость поворота управляемых колёс, рад/с , g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Для заключительного этапа испытаний угол поворота управляемых колёс увеличивают в пять раз. Тогда:

$$d\alpha/dt = 5 \cdot 0,024 / 0,18 = 0,66;$$

$$R = V / (d\alpha/dt) = 33,33;$$

$$a = V^2 / R = (22,22)^2 / 33,33 = 14,96 \text{ или } 1,5g.$$

Учёт колёсной базы (L) при моделировании рассматриваемого движения сводится к тому, что угол поворота управляемых колёс будет таким, чтобы обеспечивать заданные значения бокового ускорения. Радиус кривизны траектории в этом случае будет определяться как:

$$R = L / d\alpha = V^2 / 0,3g \rightarrow d\alpha = \frac{L \cdot 0,3g}{V^2}; \quad \alpha(t) = d\alpha \cdot t = \frac{L \cdot 0,3g}{V^2} \cdot 0,18 = 0,001L.$$

Для заключительного этапа испытаний (с увеличением угла поворота управляемых колес в пять раз) с учетом колесной базы $\alpha(t) = 0,005L$; $d\alpha / dt \approx \alpha(t) / 0,18 = 0,03L$ рад/с;

$R = 1 / 0,03 = 33,33$ м. При этом значения бокового ускорения и поперечной скорости останутся неизменными.

3 Результаты исследований

Траектория движения абсолютно управляемого тела при управляющем воздействии, задаваемом требованиями глобальных технических Правил ООН № 8, примет вид, показанный на рис. 2, а изменение его поперечной скорости движения ускорения – на рис. 3 и 4.



Рисунок 2 – Теоретическая траектория движения абсолютно управляемого объекта при управляющем воздействии, задаваемом требованиями глобальных технических Правил ООН № 8

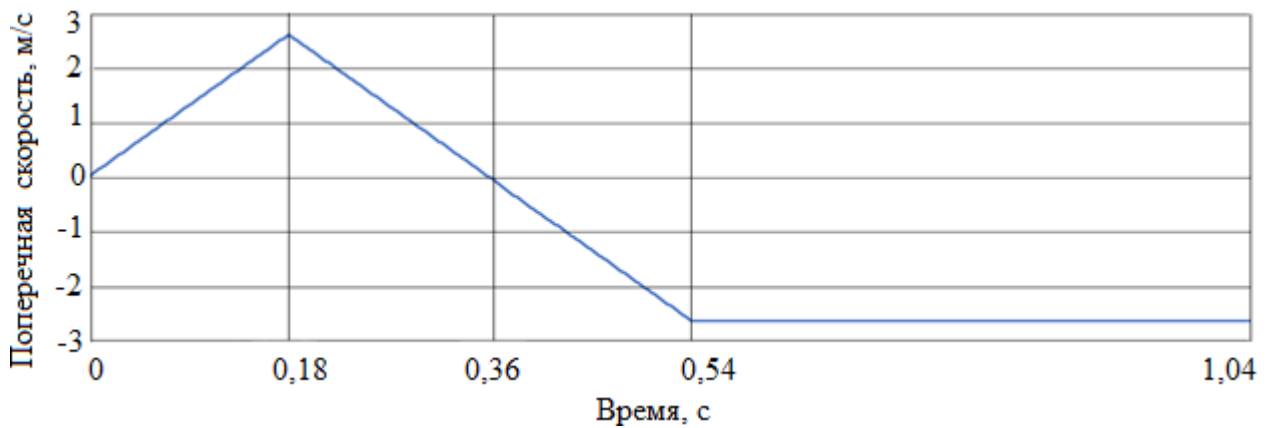


Рисунок 3 – Теоретическое изменение поперечной скорости движения абсолютно управляемого объекта при управляющем воздействии, задаваемом требованиями глобальных технических Правил ООН № 8

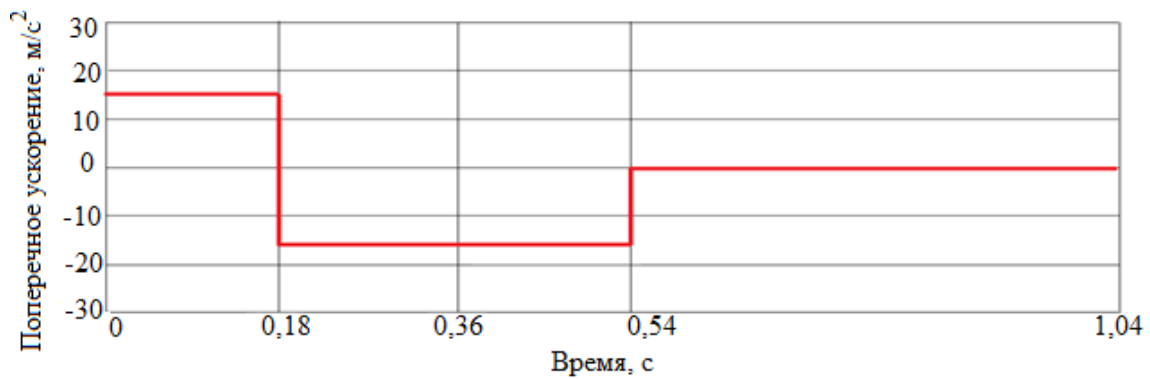


Рисунок 4 – Теоретическое изменение поперечного ускорения движения абсолютно управляемого объекта при управляющем воздействии, задаваемом требованиями глобальных технических Правил ООН № 8

Фактически любой объект не является абсолютно управляемым и при выполнении манёвра траектория его движения будет находиться между идеальной и реальной траекториями. Так как глобальные технические Правила ООН № 8 величину бокового перемещения автомобиля определяют как двойной интеграл от величины бокового ускорения по времени, то имея фактическое значение отклонения траектории можно определить какое реальное боковое ускорение может быть реализовано на реальном объекте испытаний:

$$a = 1,5g(1 - \Delta S / 2,037),$$

где ΔS – величина отклонения траектории движения испытуемого транспортного средства от идеальной, м.

Полученная зависимость в графическом виде приведена на рис. 5.

Для выполнения манёвра «переставка» также может быть получена идеализированная траектория движения, показанная на рис.7. Тогда связь между геометрическими и скоростными параметрами движения при выполнении данного испытания может быть выражена зависимостями:

$$S = 2R \sin \alpha + l \cos \alpha,$$

$$B = 2R(1 - \cos \alpha) + l \sin \alpha,$$

$$l = \frac{B - 2R(1 - \cos \alpha)}{\sin \alpha},$$

$$R = \frac{S - \frac{B - 2R(1 - \cos \alpha)}{\sin \alpha} \cos \alpha}{2 \sin \alpha},$$

где B – величина поперечного смещения транспортного средства при перестроении (исходя из схемы проведения испытаний, приведённой на рис. 6, минимальное значение данного параметра будет равняться сумме ширины транспортного средства и минимального бокового интервала, равного 0,25 м); l – полное расстояние, проходимое автомобилем при прямолинейном положении колёс, $l \cdot \cos \alpha$ – расстояние, проходимое автомобилем при прямолинейном положении колёс в продольном, а $l \cdot \sin \alpha$ – в поперечном направлении; при максимально эффективном выполнении манёвра данная величина должна равняться 0; $R \cdot \sin \alpha$ – расстояние, прохо-

димое автомобилем при испытании в продольном направлении в условиях поворота управляемых колёс; при максимально эффективном выполнении манёвра данная величина должна равняться половине длины участка перестроения S , что составляет 10 м. (см. рис.7)

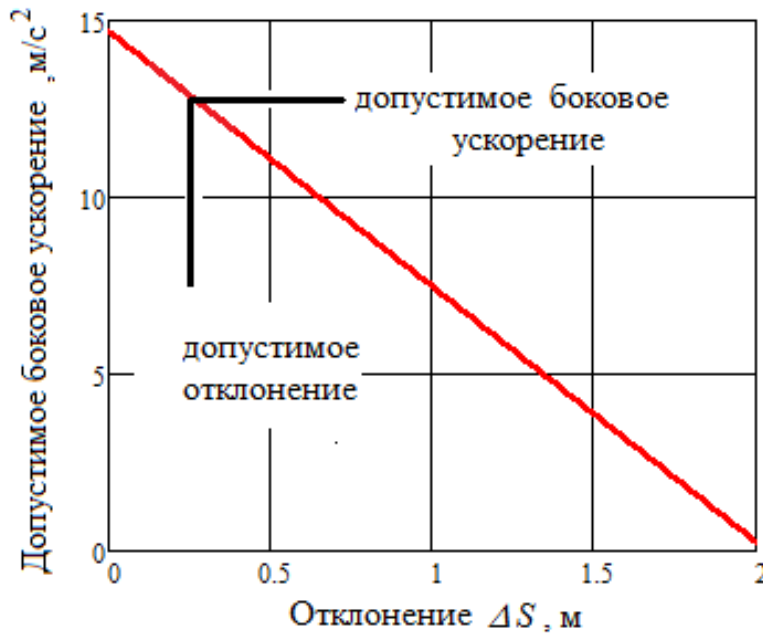
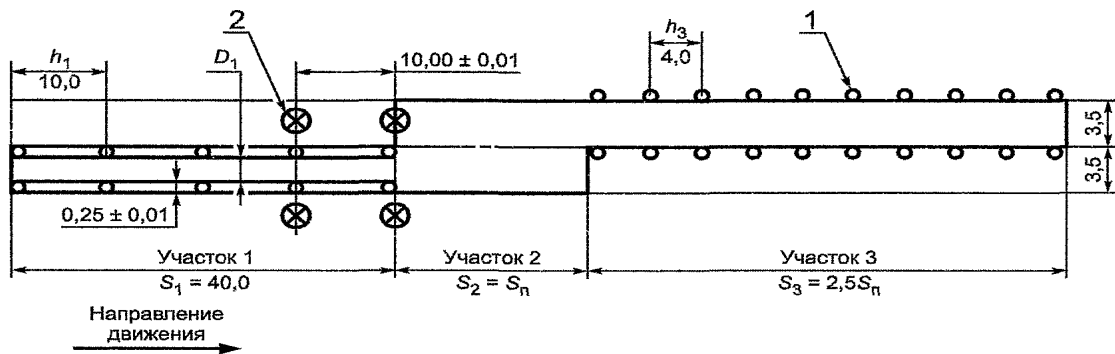
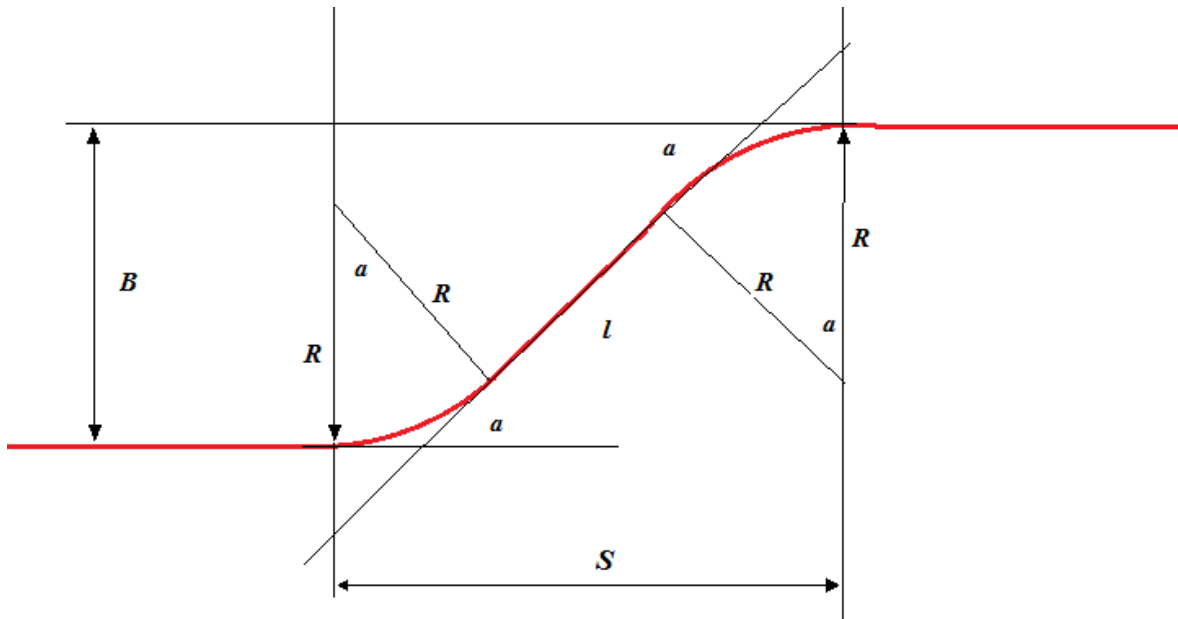


Рисунок 5 – График зависимости между отклонениями движения испытуемого автомобиля от идеальной траектории и допустимыми боковыми ускорениями



1 – вертикальные ограничители разметки коридоров движения; 2 – датчики измерения скорости; h_1 и h_3 – шаги установки ограничителей на разных участках; D – ширина коридора, м

Рисунок 6 – Схема испытаний для выполнения манёвра «переставка» [6]



S – длина участка, на котором автомобиль должен перестроиться, м; B – величина бокового смещения транспортного средства при перестроении, м.; R – радиус кривизны траектории при движении с поворотом управляемых колёс, м.; α – максимальный угол отклонения автомобиля от прямолинейного движения при движении с поворотом управляемых колёс, рад; l – длина участка траектории, по которому автомобиль движется без поворота управляемых колёс

Рисунок 7 – Схема идеализированной траектории движения автомобиля при выполнении манёвра «переставка»

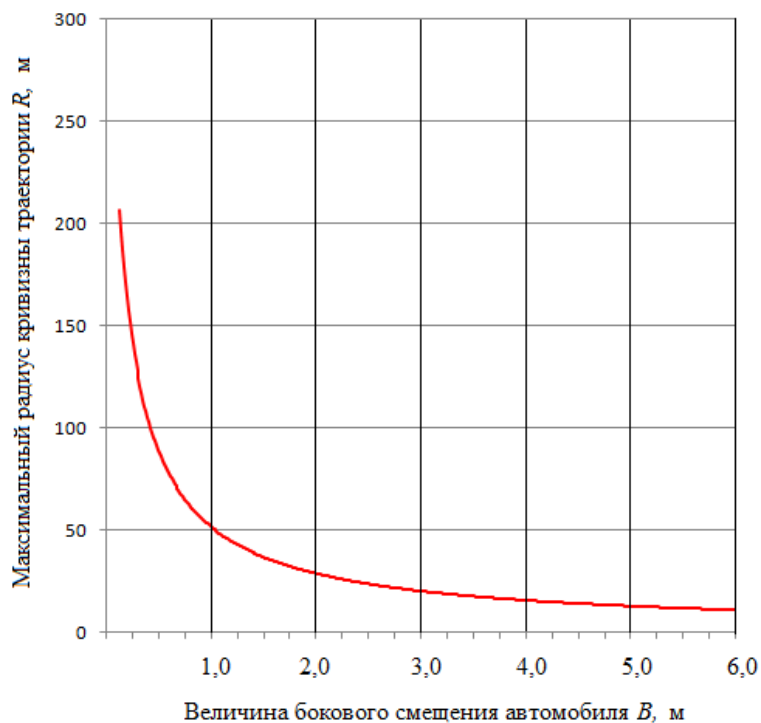
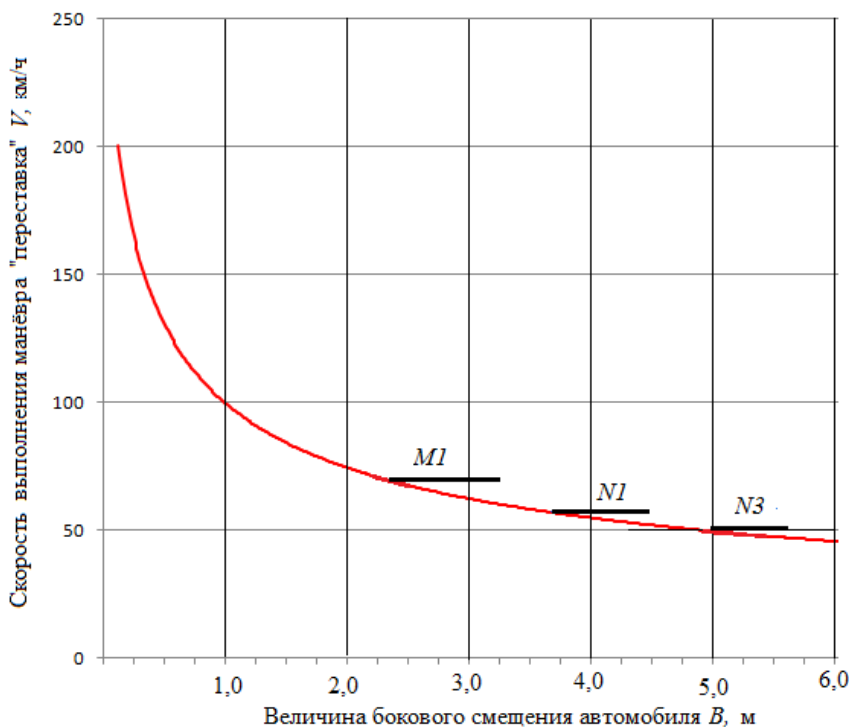


Рисунок 8 – Зависимость между боковым смещением автомобиля и максимально-возможным радиусом кривизны траектории при выполнении манёвра «переставка»

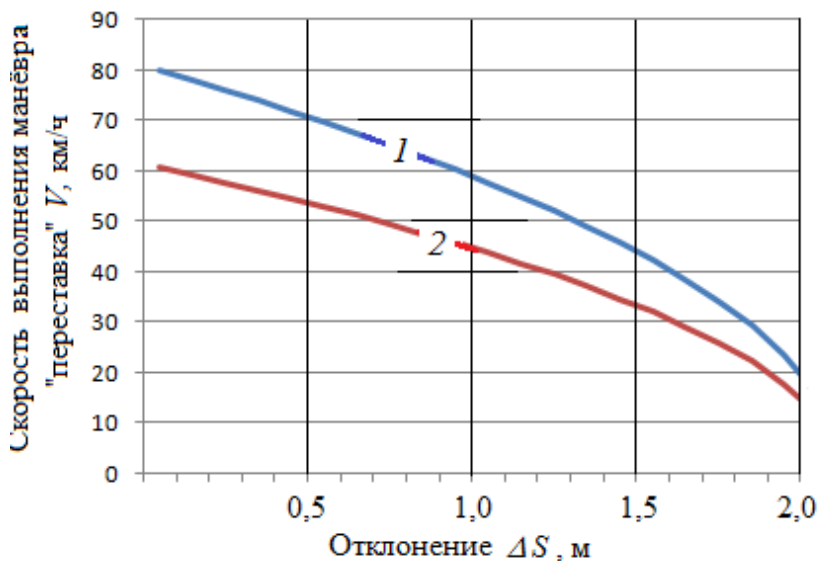


$M1, N1, N3$ – нормативные требования по скоростям различных категорий автомобилей

Рисунок 9 – Зависимость максимально-возможной скорости выполнения манёвра «переставка» от бокового смещения автомобиля (при движении по идеализированной траектории с боковым ускорением, равным $1,5 g$)

4 Обсуждение и заключение

Зная необходимый радиус кривизны траектории и допустимую величину бокового ускорения, можно получить предельно-допустимую скорость движения автомобиля при выполнении данного манёвра. В графическом виде данная взаимосвязь показана на рис. 10.



1 – для легковых автомобилей и автомобилей с полной массой не более 3,5 т;
2 – для грузовых автомобилей с полной массой более 3,5 т.

Рисунок 10 – Взаимосвязь между контролируемыми параметрами при выполнении манёвров «переставка» и «движение по усечённой синусоиде»

Исходя из того, что при испытаниях на выполнение манёвра «переставка» были установлены следующие нормативные требования: минимальная скорость движения для легковых автомобилей категории *M1* – 83 км/ч; для категории *M2* с габаритной длиной до 8 м – 71 км/ч, категории *M* с длиной от 8 до 12 м – 63 км/ч, свыше 12 м – 56 км/ч; для категории *N1* – 70 км/ч, *N2* – 66 км/ч, *N3* – 56 км/ч; для автопоездов с прицепом – 47 км/ч, для седельных автопоездов – 52 км/ч, для автопоездов с прицепом – 50 км/ч. Данные параметры можно перевести в боковые ускорения с учётом того, что максимальный радиус кривизны траектории будет соответствовать условию, когда длина прямолинейного участка траектории будет отсутствовать ($l=0$), а также при минимальном боковом смещении автомобиля B , которое, согласно нормативным требованиям должно на 0,25 м превышать ширину транспортного средства:

$$a = V^2 / R; R = \frac{S}{4tg\alpha}; \alpha = \arctg \frac{B}{S} \rightarrow R = \frac{S^2}{4B}; a = 4BV^2 / S^2.$$

Тогда минимальное боковое ускорение движения для легковых автомобилей категории *M1* ($B = 1,75$ м) – 14,5 м/с², для категории *M2* с длиной до 8 м ($B = 2,25$ м) – 13,7 м/с², категории *M* с длиной от 8 до 12 ($B = 2,5$ м) – 12 м/с², свыше 12 м ($B = 2,75$ м) – 10,4 м/с²; для категории *N1* ($B = 2,0$ м.) – 11,8 м/с²; *N2* ($B = 2,25$ м) – 11,8 м/с², *N3* ($B = 2,5$ м) – 9,45 м/с²; для автопоездов с прицепом ($B = 2,75$ м) – 7,32 м/с², для седельных автопоездов ($B = 2,75$ м) – 8,9 м/с², для автопоездов с прицепом ($B = 2,75$ м) – 8,3 м/с². Полученные результаты означают, что при выполнении манёвра движения по усечённой синусоиде максимальное отклонение траектории движения от идеальной для автомобилей категории *M1* может достигать:

$$\Delta S = 2,037 \left(1 - \frac{a}{1,5g}\right).$$

Для легковых автомобилей категории *M1* эта величина составит 0,03 м; для категории *M2* с габаритной длиной до 8 м – 0,14 м., от 8 до 12 м – 0,37 м., свыше 12 м – 0,6 м; для категории *N1* – 0,4 м, *N2* – 0,4 м, *N3* – 0,72 м; для автопоездов с прицепом – 1,02 м., для седельных автопоездов – 0,8 м и для автопоездов с прицепом – 0,9 м. С учётом того, что согласно требованиям глобальных технических Правил ООН № 8, общее боковое перемещение автомобиля должно быть не менее 1,83 м (величина отклонения от идеальной траектории 2,037–1,83 = 0,207 м) автомобили категории *M1* и *M2* с габаритной длиной до 8 м, выполняющие требования по выполнению манёвра «переставка», должны выполнять и требования по выполнению манёвра «движение по усечённой траектории». Требования к транспортным средствам категории *M* с длиной от 8 до 12 м, а также транспортным средствам категории *N1* и *N2* при отсутствии на них систем обеспечения курсовой устойчивости должны быть снижены до минимальной величины бокового перемещения автомобиля равной 1,637 м. Требования к транспортным средствам категории *M* с длиной более 12 м, а также категории *N3* при отсутствии на них систем обеспечения курсовой устойчивости должны быть снижены до минимальной величины бокового перемещения автомобиля, равной 1,317 м, а для автопоездов с прицепом – до 1 м.

Полученные данные могут уточняться для более сложных математических моделей, учитывающих влияние таких факторов как величина бокового увода колёс [9], изменение времени переходного процесса [10], влияние работы подвески [11] и др. В зависимости от степени сложности модели её точность может находиться в пределах от 80 до 95 % [12].

Список литературы

- 1 Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 6 месяцев 2024 года. Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2024–36 с.
- 2 Бутылин, В.Г. Активная безопасность [Текст] / В.Г. Бутылин, М.С. Высоцкий, В.Г. Иванов,

И.И. Лещенко. – Минск: Белавтотракторостроение, 2002 –183 с.

3 Бахмутов, С.В. Анализ методов формирования требований к безопасности эксплуатируемых транспортных средств: Учеб. пособие /С.В. Бахмутов, В.В. Ломакин, В.В. Селифонов, С.Г. Зубрицкий, А.А. Ахмедов, К.Е. Карпунин. – М. : МГТУ «МАМИ», 2007. – 72с.

4 Зеликов, В. А. Анализ факторов, отражающих поведение водителей в сложной дорожной обстановке / В. А. Зеликов, Ю. В. Струков, Г. Н. Климова, Г. А. Денисов, С. В. Внукова, Э. А. Черников, В. В. Разгоняева //Воронежский научно-технический вестник. – 2024. – Т. 3, № 3 (49). – С. 41-52.

5 Черевастов, М.Г. Влияние переоборудования автомобилей на активную безопасность транспортных средств/ У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, Ю.И. Молев, М.Г. Черевастов// Вестник гражданских инженеров.2024. – №2 (103). – С. 125-132

6 Карпов В.В. Разработка методов оценки безопасности манёвра автомобиля. специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Волгоград, 2006. – 153 с.

7 Кисуленко, Б. В. Методология формирования требований к безопасности автотранспортных средств, реализуемых в их конструкции при проектировании: специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / – Москва, 2011. – 32 с.

8 Ходес, И. В. Методология прогнозирования управляемости колесной машины: специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» и 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук М.: РГБ, 2006. – 377 с.

9 Нгуен, М. Т. Методика расчетной оценки траекторной управляемости автомобиля по относительным боковым смещениям и ускорениям: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нгуен Мань Тхе, 2012. – 160 с.

10 Гудков, В. В. Анализ влияния основных внешних сил и реакций на величину бокового увода управляемых и неуправляемых колес при криволинейном движении двухосного автомобиля / В. В. Гудков, П. А. Сокол, А. В. Василенко, А. Н. Янин //Воронежский научно-технический вестник. – 2024. – Т. 1, № 1 (47). – С. 134-153

11 Черевастов, М.Г. Прямые оценки качества реакции движения автомобиля на ступенчатое управляющее воздействие /Вахидов У.Ш., Молев Ю.И., Черевастов М.Г., Согин А.В., Слюсарев А.С. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2018. –№ 3 (122). –С. 111-120.

12 Адекватность управляемости имитационной модели легкого коммерческого автомобиля / В. В. Беляков, А. В. Тумасов, Д. А. Бутин, А. С. Вашурин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2021. – № 1(132). – С. 62-69.

References

1 Roadtrafficaccidentsin the RussianFederationfor6months of 2024.Information and analyticalreview. М.: Federal public establishment «Scientific State Institution of Road Safety of the Ministry of the Interior of the Russian Federation» 2024–36 p.

2 Butylin V.G. Activevehiclesafety/ V.G. Butylin, M.S. Vysotsky, V.G. Ivanov, I.I. Leshchenko –Minsk: «Belavtotraktorostroenie» 2002 – 183 p.

3 Bakhmutov S.V. Analysis of methods for formingrequirementsfor the safety of operatedvehicles / S.V. Bakhmutov, V.V. Lomakin, V.V. Selifonov, S.G. Zubrisky, K.E. Akhmedov, K.E. Karpukhin –M.: Moscow State Technical University of Automobile 2007 – 72 p.

4 Zelikov V.A. Analysis of factors reflecting drivers' behavior in difficult road conditions/ V.A. Zelikov Y.V. Strukov, G.N. Klimova, G.A. Denisov, S.V. Vnukova, E.A. Chernikov, V.V. Razgonyaeva // Voronezh scientific-technical bulletin– 2024. –Vol 3, № 3 (49). – p. 41-52

5 Cherevastov M.G. Impact of vehicle conversion aimed at the active vehicle safety / U.Sh. Vakhidov, V.S. Makarov, Y.I Molev., M.G. Cherevastov // Bulletin of Civil Engineers, 2024, № 2 (103) pp. 125-132

6 Karpov V.V. Development of methods for assessing the safety of a vehiclemaneuver : dis. ... candidate of Technical Sciences : 05.05.03 / V.V. Karpov. – Volgograd., 2006. – 153 p.

7 Kisulenko B.V. Methodology for the formation of requirementsfor the safety of motorvehiclesimplemendedintheirdesignduringdesign: dis. ... doctor of Technical Sciences : 05.05.03 / B.V. Kisulenko –M.: 2011. – 32 p.

8 Khodes I.V. Methodology for predicting the controllability of a wheeledvehicle : dis. ... candidate of Technical Sciences : 05.05.03/05.22.10 / I.V. Khodes. – М., 2006. – 377 p.

9 Nguyen M.T. A method for calculating the trajectory controllability of a car based on relative lateral displacements and accelerations: dis. ... candidate of Technical Sciences : 05.05.03 / M.T. Nguyen. – М., 2012. – 160 p.

10 Gudkov V.V. Analysis of the influence of the main external forces and reactions on the magnitude of the lateral withdrawal of controlled and uncontrolled wheels during the curvilinear movement of a two-axle car/ V.V. Gudkov, P.A. Sokol, A.V. Vasilenko, A.N. Yanin // Voronezh scientific-technical bulletin– 2024. – Vol 1, № 1 (47). – p. 134-153

11 Cherevastov M.G. Direct assessments of the quality of the motor vehicle reaction on step-managed impact/ U.Sh. Vakhidov, Y.I. Molev., M.G. Cherevastov, A.V. Sogin, A.S. Slyusarev // Transactions of NNSTU n. a.R.E. Alekseev / 2018. № 3 (122). – p. 111-120

12 Adequacy simulation model of a light commercial car// V.V. Belyakov, A.V. Tumasov, D.A. Butin., A.S. Vashurin Transactions of NNSTU n. a.R.E. Alekseev / 2021. № 1 (132). – p. 62-69.

© Молев Ю. И., Черевастов М. Г., Лазаревич С. В., Ерофеева А. В., 2025