

На правах рукописи



Капитонов Михаил Владимирович

**УЛУЧШЕНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ МНОГООСНОГО АВТОПОЕЗДА
С АКТИВНЫМ ПОЛУПРИЦЕПНЫМ ЗВЕНОМ ДЛЯ ДЛИННОМЕРНЫХ
НЕДЕЛИМЫХ ГРУЗОВ**

2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Волгоград – 2025

Работа выполнена на кафедре «Наземные транспортные средства» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет».

Научный руководитель доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН
Годжаев Захид Адыгезал оглы.

Официальные оппоненты: **Макаров Владимир Сергеевич,**
доктор технических наук, доцент,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
кафедра «Строительные и дорожные машины»,
профессор, г. Нижний Новгород;

Козлов Юрий Николаевич,
кандидат технических наук,
Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ»,
филиал «Научно-исследовательский центр по испытаниям и доводке автотехники» (НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ»), отделение безопасности автомобилей, ведущий научный сотрудник, г. Москва.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», г. Москва.

Защита диссертации состоится «03» июля 2025 г. в 12–00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.282.07, созданного на базе ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400005, г. Волгоград, пр.Ленина, 28, ауд. 209.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» и на сайте <http://www.vstu.ru> по ссылке:

<https://www.vstu.ru/upload/iblock/41e/41e9cf7aec211ef049f0f311c9e748f9.pdf>

Автореферат разослан « _____ » _____ 2025

Ученый секретарь
диссертационного совета



Попов Андрей Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Развитие ряда областей техники, в частности энергетического и нефтехимического машиностроения, ракетостроения и др. приводит к необходимости перевозки наземными транспортными средствами крупногабаритных неделимых грузов. При этом в большинстве случаев транспортные средства для перевозки подобных грузов должны допускать движение по дорогам общего пользования и, следовательно, удовлетворять комплексу необходимых для этого требований, в том числе по маневренности.

В настоящее время для перевозки длинномерных неделимых грузов используются автопоезда с активными полуприцепами, снабженными управляемыми мотор-колесами. Эффективное ручное управление колесами таких полуприцепов возможно лишь при движении транспортного средства с малой, не превышающей 5 км/ч, скоростью, например при маневрировании на ограниченной площади. Для движения по дорогам общего пользования необходимы системы управления, действие которых привязано к системе управления тягача и к условиям движения. Известные системы такого рода позволяют управлять поворотом колес полуприцепа пропорционально углу поворота его продольной оси относительно тягача, но не учитывают возможный выход полуприцепа за допустимый габаритный коридор движения при больших массово-габаритных показателях груза.

Следовательно, актуальной является задача совершенствования подобных систем управления полуприцепами с тем, чтобы в полной мере предотвратить выход существенно длинномерных звеньев автопоезда за допустимый габаритный коридор движения.

Заметное увеличение массогабаритных показателей грузов, которые необходимо перевозить автопоездами в настоящее время, требует дальнейших исследований маневренных свойств автопоездов.

Целью исследования является улучшение маневренности седельного автопоезда, предназначенного для транспортировки длинномерных неделимых

грузов, за счет совершенствования алгоритма управления поворотом колес полуприцепа.

Для достижения целей исследования необходимо решить следующие задачи.

Задачи исследования:

1. Провести анализ особенностей криволинейного движения многоосных автопоездов с полуприцепным звеном для транспортировки длинномерных неделимых грузов. Обосновать параметры, влияющие на расположение звеньев автопоезда внутри заданного коридора движения.
2. Разработать алгоритм управления поворотом колес полуприцепа, позволяющий сохранить положение звеньев автопоезда внутри заданного габаритного коридора движения при транспортировке длинномерных неделимых грузов с большими массово-габаритными характеристиками.
3. Разработать, создать программную реализацию и проверить адекватность математических моделей движения по криволинейной траектории многоосного автопоезда, снабженного системой управления поворотом колес полуприцепа.
4. Разработать методики экспериментального исследования и провести расчетно-экспериментальные исследования по оценке результативности алгоритма работы системы управления поворотом большегрузного транспортного средства.

Научная новизна:

1. Обоснованы параметры, влияющие на расположение внутри заданного габаритного коридора движения звеньев автопоезда для транспортировки длинномерных неделимых грузов с большими массово-габаритными характеристиками.
2. Разработана и реализована математическая модель движения по криволинейной траектории многоосного автопоезда с длинномерным неделимым грузом, снабженного системой управления поворотом колес полуприцепа, отличающаяся от известных возможностью учета различных алгоритмов управления поворотом колес полуприцепа.
3. Предложен алгоритм управления поворотом колес полуприцепа, обеспечивающий при заданных значениях углов поворота колес тягача, угла складыва-

ния звеньев автопоезда и конструктивных параметрах полуприцепа движение полуприцепа в заданном габаритном коридоре.

Объект исследования – автопоезд с активным многоосным управляемым полуприцепным звеном для транспортировки длинномерных неделимых грузов с большими массово-габаритными показателями.

Предмет исследования – маневренность автопоезда с многоосным управляемым полуприцепным звеном для транспортировки длинномерных неделимых грузов с большими массово-габаритными показателями.

Практическая значимость работы. Применение разработанных алгоритмов позволяет улучшить маневренность автопоезда с многоосным управляемым полуприцепным звеном для транспортировки длинномерных неделимых грузов с большими массово-габаритными показателями при движении по криволинейной траектории.

Полученные в рамках данной диссертации результаты и модели могут быть использованы в НИИ и КБ при разработке автотранспортных средств с длинномерным полуприцепным звеном. Результаты работы могут быть также использованы при подготовке специалистов по проектированию специальной техники в учебных заведениях.

Разработанный математический аппарат использован при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в филиале АО «ЦЭНКИ»-«КБ «Мотор», АО «ЦЭНКИ»-НИИ СК, АО «МОВЕН».

Степень разработанности темы исследования

Существенный вклад в исследования особенностей движения автопоездов, в том числе автопоездов с длинномерными полуприцепами, внесли Беловусов Б.Н., Годжаев З.А., Горелов В.А., Гладов Г.И., Жуковский Н.Е., Закин Я.Х., Котиев Г.О., Петрушов В.А. и др. Ими разработаны методы моделирования движения автопоездов с учетом разных факторов, в том числе характеристик сцепного устройства. Модели позволяют оценивать разные эксплуатационные свойства автопоездов. Однако в этих работах не рассматривается проблема выбора алгоритма автоматического управления поворотом колес полу-

прицепа, обеспечивающего выполнение требуемых показателей маневренности автопоезда.

Теоретическая значимость работы

Разработанная математическая модель может служить теоретической базой для совершенствования алгоритмов управления поворотом колес многоосных длинномерных полуприцепов для перевозки крупногабаритных неделимых грузов.

Методология и методы исследований. В ходе выполнения работы использовались теоретические и экспериментальные методы исследований. Применены математические модели исследуемых объектов, методы аналитической механики, а также численные методы моделирования движения на языке Pascal и в программе MathLab.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Выявленные в рамках исследования основные факторы, влияющие на траекторию движения при повороте автопоезда с длинномерным неделимым грузом.
2. Математическая модель криволинейного движения автопоезда с полуприцепом с различными алгоритмами управления поворотом колес.
3. Алгоритм управления колесами полуприцепа, улучшающий маневренность автопоезда.

Степень достоверности полученных результатов основывается на сравнении результатов исследований на математических моделях движения автопоезда с длинномерным неделимым грузом с результатами исследований пробеговых испытаний на физической модели. При этом подтверждается правомерность использования предложенных в работе рекомендаций, а также достоверность выводов, полученных в результате теоретических исследований.

Апробация работы:

Основные положения научной работы докладывались и обсуждались на следующих мероприятиях:

1. XLIV Международная молодёжная научная конференция – «Гагаринские чтения-2018» (МАИ, г. Москва, март 2018 г.)
2. X общероссийская научно-техническая конференция «Молодежь. Техника. Космос» (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, апрель 2018 г.)
3. 76-я научно-методическая и научно-исследовательская конференция МАДИ. Закрытая секция «Тягачи и амфибийные машины» (ФГБОУ ВО МАДИ, г. Москва, февраль 2018 г.)
4. XI общероссийская научно-практическая конференция «Инновационные технологии и технические средства специального назначения» (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, февраль 2019 г.)
5. XLII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства. Сборник тезисов (МГТУ им. Н.Э. Баумана, январь 2019 г.)
6. I Международная научно-практическая конференция: «Космическая философия - Космическое право-Космическая деятельность – триединство космического прорыва человечества» (Цифровая платформа RKO.NBICS NET, г. Москва, 23-24 мая 2020 года.
7. Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения» г. Санкт-Петербург ВКА им. А.Ф. Можайского 28-29 марта 2021 года
8. MIP: Engineering-III-2021: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering" г. Красноярск, 29 апреля 2021 года

Личный вклад автора заключается в: постановке целей и задач исследования; разработке математического аппарата для исследования движения длинномерного автопоезда по криволинейной траектории, разработке алгоритма управления колесами полуприцепа, улучшающего маневренность автопоезда.

Публикации. Основные теоретические положения и результаты исследования опубликованы автором в 16 печатных изданиях, 7 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 4 – в журналах, индексируемых в наукометрической базе Scopus, 5 – в сборниках трудов конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, заключения, библиографического списка и приложения. Объем работы составляет 117 страниц, включая 72 рисунка и 7 таблиц. Список литературы содержит 110 наименований.

Реализация работы. Результаты работы внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «МАДИ», применены при разработке новых ТС в филиале АО «ЦЭНКИ» - НИИ Стартовых комплексов им. В.П. Бармина г. Москва и в АО «МОВЕН» г. Волжск.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, дана краткая характеристика научных задач, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе диссертации рассмотрены и проанализированы основные особенности движения длинномерного автопоезда с большими массо-габаритными показателями по криволинейной траектории. На основании выполненного обзора обозначены основные направления исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Проведен анализ условий поворота и условий маневрирования автопоезда, рассмотрены вопросы, связанные с определением траекторий его отдельных звеньев, исследованы кинематические особенности поворота и маневрирования автопоезда, оценено рассогласование частот вращения колес.

Вторая глава посвящена разработке математических моделей кинематики и динамики движения автопоезда по криволинейной траектории. Скорости движения автопоезда считались малыми, на поворотах из рассмотрения исключался боковой увод шин. Принятая расчетная схема для определения кинематики движения автопоезда показана на рис. 1.

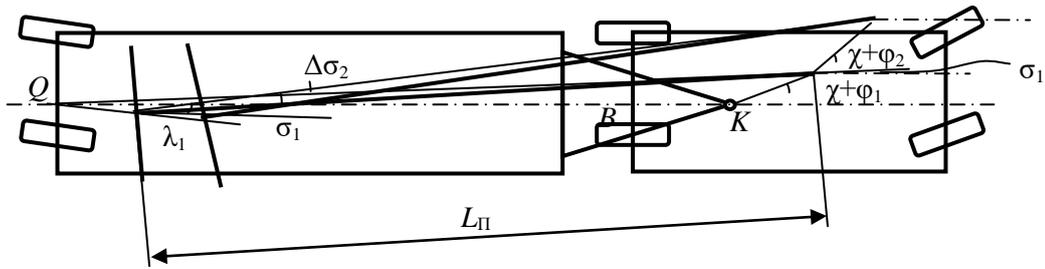


Рис. 1. Расчётная схема для для определения кинематики движения автопоезда

Предполагалось, что точка Q перемещается по кратчайшему расстоянию. Вычисление предполагаемого перемещения Δl_{0Q_1} и угла поворота полуприцепа $\Delta\sigma_1$ на 1-м шаге:

$$\Delta l_{0Q_1} = \frac{\Delta l_{K1} \sin(\chi + \varphi_1)}{\sin \Delta\sigma_1} - L_{\Pi}; \quad \Delta\sigma_1 = \arctg \frac{\Delta l_{K1} \sin(\chi + \varphi_1)}{L_{\Pi} + \Delta l_{K1} \cos(\chi + \varphi_1)}. \quad (1)$$

Однако в результате поворота колёс на угол λ_1 точка Q отклоняется от рассчитанного курса $\Delta\sigma_1$ на угол λ_1 . В результате получаем угол курса $\Delta\sigma_1 - \lambda_1$. Для расчёта перемещения по этому курсу использована схема рис. 2.

В результате полуприцеп отклоняется от первоначального положения на угол

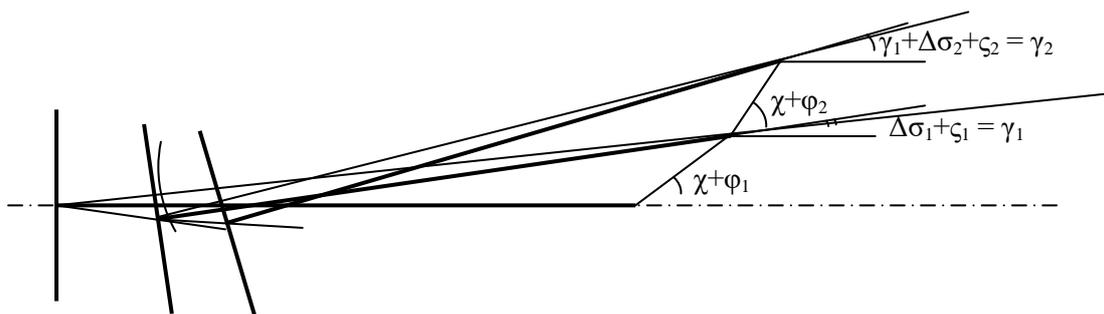


Рис. 2. Схема расчета углов поворота продольной оси полуприцепа

$$\gamma_1 = \Delta\sigma_1 + \zeta_1. \quad (2)$$

На каждом последующем шаге рассчитывались:

– перемещение центра шарнира K :

$$\Delta l_{Ki} = V_{Ki} \cdot \Delta t = R_{Ki} \frac{V_{ai}}{L} \operatorname{tg} \theta_i \cdot \Delta t; \quad (3)$$

– угол, на который дополнительно повернулся бы прицеп при условии, что он движется по кратчайшему пути за тягачом:

$$\Delta\sigma_i = \operatorname{arctg} \frac{\Delta l_{K_i} \sin(\chi + \varphi_i - \gamma_{i-1})}{L_{\Pi} + \Delta l_{K_i} \cos(\chi + \varphi_i - \gamma_{i-1})}; \quad (4)$$

– перемещение точки Q при этом же условии:

$$\Delta l_{0Q_i} = \frac{\Delta l_{K_i} \sin(\chi + \varphi_i - \gamma_{i-1})}{\sin \Delta\sigma_i} - L_{\Pi}; \quad (5)$$

– угол поворота полуприцепа от предполагаемого угла поворота, вычисленного при условии, что он движется по кратчайшему пути за тягачом, исходя и того, что в результате поворота колёс на угол λ_i точка Q отклоняется от рассчитанного курса ($\Delta\sigma_i$) на угол λ_i

$$\upsilon_i = \pi - \arcsin \left(\frac{\Delta l_{0Q_i} + L_{\Pi}}{L_{\Pi}} \sin \lambda_i \right); \quad \zeta_i = \pi - \lambda_i - \upsilon_i; \quad (6)$$

– угол траектории точки Q :

$$\gamma_{i-1} + \Delta\sigma_i - \lambda_i; \quad (7)$$

– перемещение по курсу $\gamma_{i-1} + \Delta\sigma_i - \lambda_i$:

$$\Delta l_{Q_i} = L_{\Pi} \cdot \frac{\sin \zeta_i}{\sin \lambda_i}; \quad (8)$$

– отклонение полуприцепа от первоначального положения:

$$\gamma_i = \gamma_{i-1} + \Delta\sigma_i + \zeta_i. \quad (9)$$

Проекция траекторий колёс прицепа на оси X и Y :

$$\begin{aligned} Q_{iX_{\Pi}} &= Q_{iX} - \frac{B}{2} \sin \sigma_i; & Q_{iX_{\Pi}} &= Q_{iX} + \frac{B}{2} \sin \sigma_i; \\ Q_{iY_{\Pi}} &= Q_{iY} + \frac{B}{2} \cos \sigma_i; & Q_{iY_{\Pi}} &= Q_{iY} - \frac{B}{2} \cos \sigma_i. \end{aligned} \quad (10)$$

Требуемое значение угла поворота колёс полуприцепа для прохождения поворота по следу задних колёс тягача:

$$\lambda(\theta) = \frac{\pi}{2} - \arccos \left(\frac{L_{\Pi}^2 - l_K^2}{2LL_{\Pi}} \operatorname{tg} \theta \right). \quad (11)$$

Для удобства предложен оценочный показатель маневренности – ширина коридора D , под которым понимается разность между максимальным R_1 и минимальным R радиусами поворота.

Однако при вхождении автопоезда в поворот и выхода из поворота рассчитанный по формуле (11) угол поворота колес полуприцепа приводит к существенному отклонению траектории движения колес полуприцепа от траектории движения задних колес тягача. Для решения этой проблемы предлагается задавать угол поворота колес полуприцепа в зависимости как от угла θ поворота ведущих колес тягача, так и от текущего значения угла складывания автопоезда:

$$\lambda(\theta, \psi) = \frac{\pi}{2} - \arccos\left(\frac{L_{\Pi}^2 - l_K^2}{2LL_{\Pi}} \operatorname{tg}\theta\right) + \psi - \psi_{\text{расч}}, \quad (12)$$

где ψ – текущий угол складывания автопоезда, $\psi_{\text{расч}}$ – расчетный угол складывания автопоезда, соответствующий углу θ поворота ведущих колес тягача при установившемся движении автопоезда по окружности.

Алгоритм управления поворотом колес полуприцепа, основанный на зависимости (12), обеспечивает обратную связь в системе управления колесами полуприцепа. Задающее устройство вырабатывает сигнал

$$f(\theta) = \arccos\left(\frac{L_{\Pi}^2 - l_K^2}{2LL_{\Pi}} \operatorname{tg}\theta\right) + \psi_{\text{расч}} - \frac{\pi}{2}, \quad (13)$$

зависящий от угла θ поворота ведущих колес тягача. Датчик обратной связи определяет текущий угол складывания автопоезда ψ (угол поворота входной оси автоматического регулятора). Система автоматического регулирования представляет собой следящую систему, в которой заданной величиной является $f(\theta)$ (угол поворота задающей оси), а регулируемой величиной – угол поворота колес полуприцепа, равный разности между текущим углом складывания автопоезда (углом поворота входной оси) ψ и углом поворота задающей оси $f(\theta)$.

В третьей главе приводится описание экспериментальных исследований движения длинномерного автопоезда по криволинейным траекториям и сравнение экспериментальных данных с результатами теоретических

исследований.

Методика экспериментальных исследований состояла в следующем: автопоезд двигался со скоростью 5 км/ч сначала по прямолинейному участку траектории, а затем выходил на поворот под углом 90°. При этом траектории движения тягача и полуприцепа отмечались на площадке с помощью струй краски, вытекаемых из бачков, установленных на тягаче и полуприцепе на днище в точках, соответствующих центрам тяжести. По следам траекторий делалось 10-12 отметок, и каждая отметка на площадке координировалась от базовых линий, расположенных на площадке в двух взаимно перпендикулярных направлениях. На рис. 3 приведен опытный образец автопоезда, он состоит из седельного тягача КАМАЗ и низкорамного полуприцепа с управляемым полуприцепным звеном.



Рис. 3. Опытный образец автопоезда

При прохождении криволинейных участков пути в работу включаются три пары задних колес полуприцепа с электродвигателями постоянного тока. Автопоезд оснащен электронной системой управления поворотом колес полуприцепа.

В четвертой главе проведено сравнение результатов имитационного моделирования движения автопоезда и результатов пробеговых испытаний его физической модели (рис. 4). Оно позволяет сделать вывод о соответствии математической модели результатам натурных испытаний.

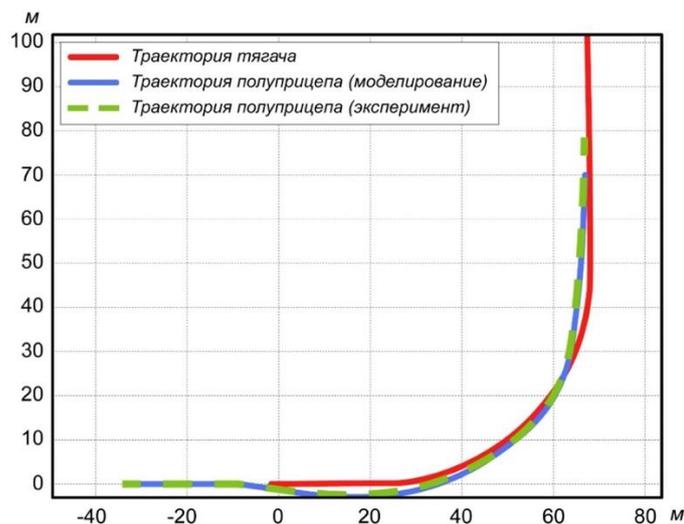


Рис. 4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований

Проведен анализ криволинейного движения автопоезда, определены основные геометрические параметры, непосредственно влияющие на показатели маневренности. Предложен алгоритм управления поворотом колес полуприцепа, обеспечивающий улучшение маневренности длиномерного автопоезда. С целью подтверждения эффективности предложенного алгоритма проведено математическое моделирование движения автопоезда по различным криволинейным траекториям.

Результаты этого моделирования представлены на рис. 5 и 6.

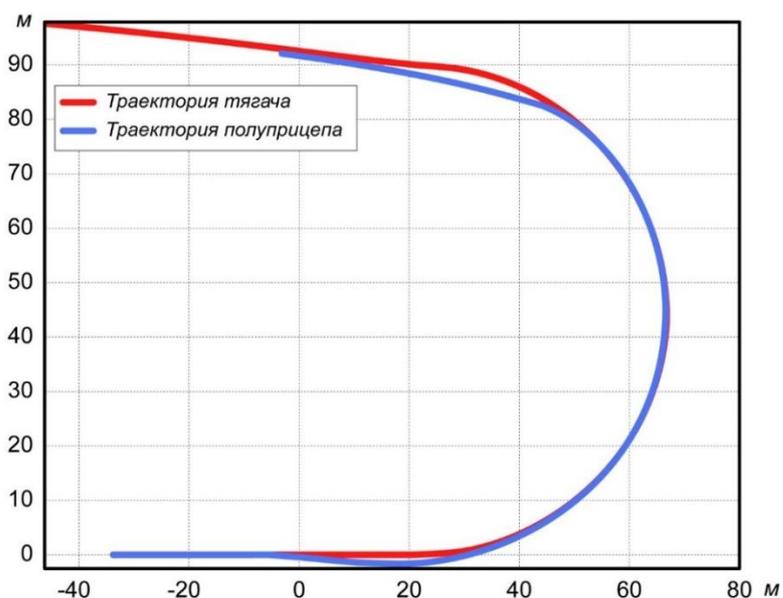


Рис. 5. Траектория движения автопоезда с обратной связью в системе управления полуприцепом (скорость движения 5 км/ч)

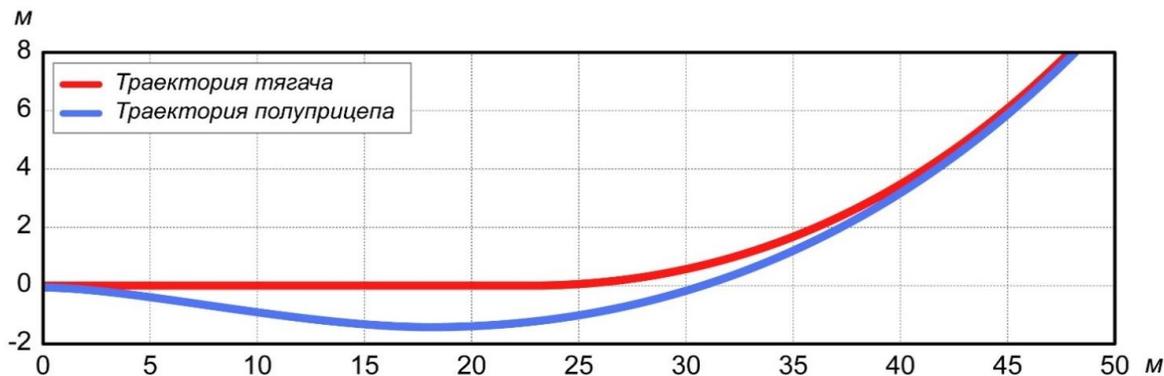


Рис. 6. Траектория движения автопоезда с обратной связью в системе управления полуприцепом (увеличено)

С целью уменьшения расхождения траекторий полуприцепа и тягача в алгоритм управления введено запаздывание начала поворота колес полуприцепа относительно начала поворота продольной оси полуприцепа.

Величина запаздывания определялась из следующего условия:

$$t = \frac{L}{V},$$

где L – расстояние от оси сцепки до приведенной оси полуприцепа; V – скорость автопоезда.

Произведено математическое моделирование движения автопоезда с учетом величины запаздывания, результаты которого представлены рис. 7.

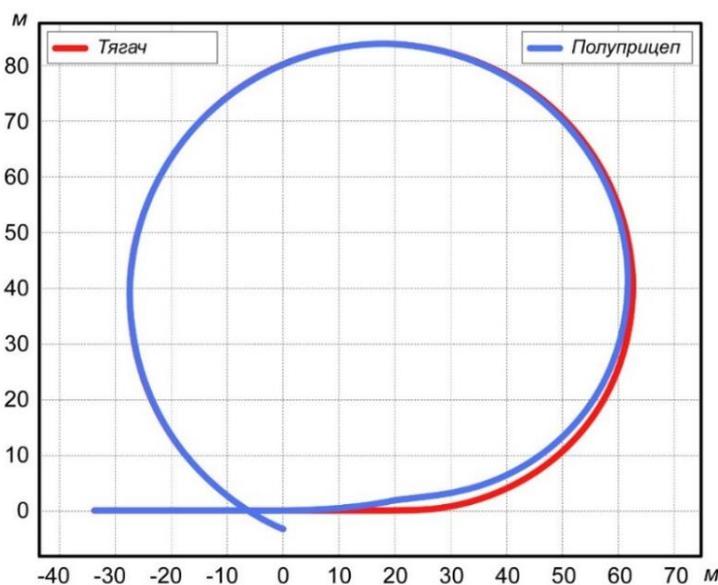


Рис. 7. Траектория движения автопоезда с использованием предлагаемого алгоритма управления колесами полуприцепа (скорость 5 км/ч)

Эмпирическим путем была определена зависимость величины запаздывания от скорости движения автопоезда при скоростях движения автопоезда от 2 до 25 км/ч :

$$t = f(V); t = -0,0062V^3 + 0,2863V^2 - 4,4769V + 24,9832.$$

Полученная зависимость показана на рисунке 8.

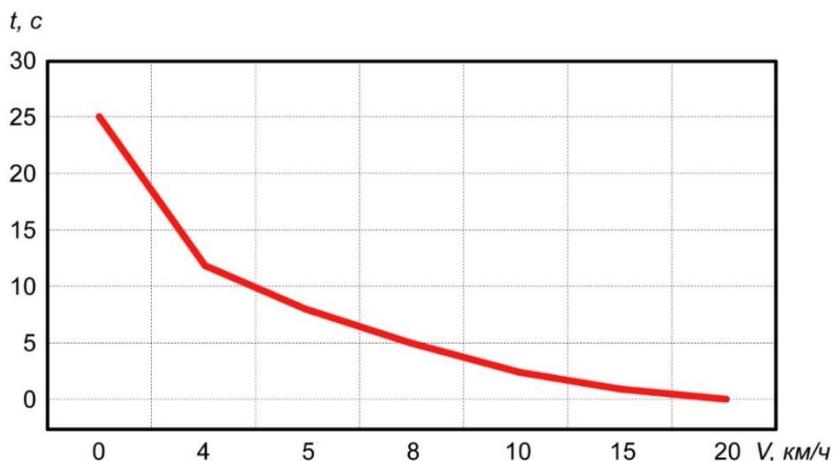


Рис. 8. Функция запаздывания

Для различных видов и состояния опорной поверхности может потребоваться уточнение функции запаздывания. Найденные функции запаздывания для различных видов опорной поверхности могут храниться в блоке управления движением автопоезда.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ особенностей движения по криволинейной траектории многоосного автопоезда с длинномерным полуприцепным звеном, который показал, что при движении с малыми (менее 35 м) радиусами поворота наблюдается существенное (более 5%) несовпадение траекторий колес тягача и полуприцепа. Определены основные факторы, влияющие на расположение внутри заданного коридора движения звеньев автопоезда при транспортировке длинномерных неделимых грузов с большими массово-габаритными характеристиками.

2. Разработаны и программно реализованы математические модели движения по криволинейной траектории многоосного длинномерного автопоезда, снабженного системой управления поворотом колес полуприцепа, отличающаяся от известных возможностью учета различных алгоритмов управления поворотом колес полуприцепа.
3. Проведены натурные экспериментальные исследования криволинейного движения многоосного автопоезда с длинномерным полуприцепным звеном, которые показали расхождение значений расчетных и измеренных величин траекторий характерных точек автопоезда, не превышающее 13,5%.
4. Предложен алгоритм управления поворотом колес полуприцепа, обеспечивающий при заданных значениях углов поворота колес тягача, угла складывания звеньев автопоезда и конструктивных параметрах полуприцепа движение полуприцепа в заданном габаритном коридоре.
5. На основе математического моделирования показана эффективность разработанного алгоритма управления поворотом колес полуприцепа, реализация которого позволила улучшить маневренность длинномерного автопоезда до 20%.
6. Разработаны методики экспериментального исследования и проведены расчетно-экспериментальные исследования по оценке результативности алгоритма работы системы управления поворотом большегрузного транспортного средства.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ, ОТРАЖАЮЩИХ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Устойчивость и качество работы систем автоматического управления поворотом и полуприцепными звеньями большегрузных автопоездов / А.Г. Амосов, В.А. Голиков, М.В. Капитонов [и др.] // Транспортное дело России. – 2019. – № 1. – С. 189-192.
2. Анализ проблем маневренности и движения при проектировании автопоездов / А. Г. Амосов, В. А. Голиков, М. В. Капитонов [и др.] // Транспортное дело России. – 2019. – № 1. – С. 234-236.

3. Выбор закона соотношения углов поворота колес транспортно-технологических агрегатов / А.Г. Амосов, А.А. Автушенко, М.В. Капитонов, М.Т. Лычкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 9. – С. 329-336.
4. Капитонов, М.В. Параметры и параметрические ряды двухзвенного автопоезда строительно-хозяйственной техники / М.В. Капитонов // Инвестиции и инновации. – 2021. – № 8, С. 104-10
5. Капитонов, М.В. Унификация узлов и агрегатов наземных комплексов транспортно-технологического оборудования / М.В. Капитонов // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 3. – С. 161-164.
6. Годжаев, З.А. Относительное проскальзывание пневматической шины по опорной поверхности / З.А. Годжаев, М.В. Капитонов // Автомобильная промышленность. – 2022.- №12, С.14-16.
7. Годжаев, З.А. Математическая модель кинематики поворота двухзвенного активного автопоезда с реальной и идеальной системами управления поворотом колес полуприцепа / З.А. Годжаев, М.В. Капитонов // Тракторы и сельхозмашины. – 2023 .– Т.90, № 2, С. 117-122.

Статьи, опубликованные в научных изданиях, индексируемые в базе SCOPUS:

8. M. Kapitonov, Operational and design parameters of unified vehicles / A. Amosov, V. Golikov, M. Kapitonov, E. Mikhailova, E. Churakova //International Journal of Mechanical and Production Engineering Research Development. – Jun 20 19. – Vol. 9 Issue 3. – P. 431-438.
9. Kapitonov, M. V. (2021). Course-keeping ability of heavy transport units with an arbitrary number of links. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, , 2402 doi:10.1063/5.0071336
10. Kapitonov, M. V. (2021). Mathematical model of the kinematics of turning of wheeled construction equipment with real and ideal control systems for steering the wheels of a semi-trailer. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, 2402 doi:10.1063/5.0071308
11. Kapitonov, M. V. (2022). Engineering and analytical method for estimating the parametric reliability of products by a low number of tests. Inventions, Amosov, A. G., Golikov, V. A., Kapitonov, M. V., Vasilyev, F. V., & Rozhdestvensky, O. K. 7(1) doi:10.3390/inventions7010024

Статьи в сборниках научных трудов и сборниках конференций – 5 шт.

Подписано в печать_____. Заказ № _____. Тираж 70 экз. Печ. л. 1,00.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.