ДОНЕЦЬКА АКАДЕМІЯ автомобільного транспорту

Вісник Донецької академії автомобільного транспорту

№ 4
2015

Науковий журнал

Засновник:
Донецька академія автомобільного транспорту

Видавець:
ПП «Рекламно-виробнича фірма «Молнія»
Адреса: вул. Октября, 22 а,
м. Донецьк, 83030
тел.: (062) 388-21-67

За достовірність фактів, цифр, точність імен та прізвищ несуть відповідальність автори статей

До журналу увійшли статті співробітників, аспірантів та докторантів Донецької академії автомобільного транспорту та інших навчальних закладів

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу

Видання виходить 4 рази на рік
Видається з січня 2004 року

Адреса редакції:
пр. Дзержинського, 7
м. Донецьк, 83086,
Тел. (062) 345-21-90
E-mail: nauka@diat.edu.ua
URL: journal.diat.edu.ua

Рекомендовано до друку вченою радою Донецької академії автомобільного транспорту.
Протокол № 3 від 25.11.2015 р.

Редакційна колегія:

Головний редактор
Енглезі І.П., *ректор Академії, к.т.н., доцент*

Заступник головного редактора
Макаров В.А., *д.т.н., доцент*

Члени редколегії:
Балабін І.В., *д.т.н., професор (Російська Федерація)*
Бєлов Ю.В., *к.т.н., доцент*
Бєлоусов В.В., *д.т.н., професор*
Бруннер Х., *д.т.н., професор (Німеччина)*
Вербицький В.Г., *д.ф.-м.н., професор*
Вовк Л.П., *д.т.н., професор*
Горожанкін С.А., *д.т.н., професор*
Доля В.К., *д.т.н., професор*
Загороднов М.І., *к.т.н., доцент*
Заренбін В.Г., *д.т.н., професор*
Кравченко О.П., *д.т.н., професор*
Макогон Б.П., *к.ф.-м.н., доцент*
Міротін Л.Б., *д.т.н., професор (Російська Федерація)*
Міщенко М.І., *д.т.н., професор*
Поліщук В.П., *д.т.н., професор*
Самородов В.Б., *д.т.н., професор*
Сахно В.П., *д.т.н., професор*
Сладковський О., *д.т.н., професор (Польща)*
Сунцов М.В., *д.х.н., професор*
Ткаченко В.П., *д.т.н., професор*
Федоров Є.Є., *д.т.н., доцент*
Хаханов В.І., *д.т.н., професор*

Відповідальний секретар
Гончарук В.Л.

Коректор
Виставкіна Т.Е.

Технічний редактор
Руденко О.В.

ВІСНИК ДОНЕЦЬКОЇ АКАДЕМІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

Засновник:

Донецька академія автомобільного транспорту

Видавець:
ПП «Рекламно-виробнича фірма «Молнія»
Адреса:
вул. Октября, 22 а,
м. Донецьк, 83030
Тел.: (062) 388-21-67
За достовірність фактів, цифр, точність імен та прізвищ несуть відповідальність автори статей.

У журнал увійшли статті співробітників, аспірантів та докторантів
Донецької академії автомобільного транспорту та інших навчальних закладів

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу

Видання виходить 4 рази на рік
Видається з січня 2004 року

Адреса редакції:
пр. Дзержинського, 7
м. Донецьк, 83086
Тел: (062) 345-21-90
E-mail: nauka@diat.edu.ua
URL: journal.diat.edu.ua

Рекомендовано до друку вченою радою Донецької академії автомобільного транспорту
Протокол № 3 від 25.11.2015 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію: серія КВ № 15 936-4408 ПР від 02.12.2009 р., видане Міністерством юстиції України.

«Вісник Донецької академії автомобільного транспорту» включений до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (постанова президії ВАК України від 10 лютого 2010 р. № 1-05/1).

Електронна версія видання надається у вільний доступ на власному сайті журналу «Вісник Донецької академії автомобільного транспорту» та на сайті Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського.

Видання розміщено на платформі Наукової електронної бібліотеки Російської Федерації і обробляється наукометричною базою «Российский индекс научного цитирования».

Видання розміщено і обробляється наукометричною базою «Академія Google».

Видання відображається у реферативній базі даних «Україніка наукова».

ISSN 2219-8180

Підписано до друку 25.11.2015 р. Формат 60 х 84/8. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 4,56. Наклад 100 прим.

Віддруковано у друкарні ПП «Рекламно-видавнича фірма «Молнія»
Адреса:
вул. Октября, 22 а,
м. Донецьк, 83030
Тел.: (062) 388-21-67

© Вісник Донецької академії автомобільного транспорту, 2015

Зміст

Транспортні технології

Жаболенко М.В. **Формирование системы логистического обслуживания на основе концепции CRM** 4

Калинин А.В. **Анализ влияния вибрационных процессов внутри кузовной части автомобиля на физические свойства груза во время движения с целью повышения качества транспортных услуг** 11

Транспорт і двигуни внутрішнього згоряння

Мойся Д.Л. **Експериментальне визначення маневреності макета триланкового автопоїзда** 16

Комов А.Б., Комов П.Б. **Парадигма технической эксплуатации автомобилей** 23

Єфименко А.М., Вербицький В.Г. **До побудови математичної моделі колісного транспортного засобу** 33

Стрельник Ю.Н. **Анализ устойчивости прямолинейного движения модели автомобиля с управляемой задней осью (абсолютно жесткая модель управления)** 42

Лукичев А.В., Сакно О.П. **Перспективы использования роботов-ассистентов различной кинематики в автосервисе** 50

Сунцов Н.В., Сунцов А.Н., Стрельник Ю.Н. **К вопросу о потерях энергии на качение эластичных колес автомобиля** 59

Автори номера 70

Правила подання та оформлення статей 71

Порядок рецензування статей 73

УДК 65.012.34

ЖАБОЛЕНКО М.В., к.э.н., доцент
Донецкая академия автомобильного транспорта

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ CRM

В данной статье рассмотрены подходы к совершенствованию отношений с клиентами в рамках логистического обслуживания на базе Customer Relationship Management (CRM); определены основные бизнес-задачи, решаемые системой CRM; представлены основные составляющие логистической стратегии сервисного обслуживания.
Ключевые слова: *логистическая стратегия, сервисное обслуживание, потребности, клиент, технологии.*

Постановка проблемы

Развитие стратегического аспекта логистики на рынке сервисного обслуживания имеет важное значение, поскольку рынок вступил в ту стадию своего развития, когда отсутствие четко разработанных стратегий приводит к снижению эффективности рыночной деятельности и потере конкурентных преимуществ предприятия.

Для предприятий, которые предоставляют услуги дистрибьюции и логистики, довольно сложно выбрать правильное направление, которое не только не приведет фирму к упадку, но и обеспечит стабильное развитие. Именно благодаря верно подобранной стратегии логистического обслуживания предприятие будет способно на конкурентную борьбу с фирмами, предоставляющими аналогичные услуги, а также на дальнейшее развитие своей деятельности и движение в правильном направлении.

Логистика охватывает всю сферу деятельности предприятия на всех этапах развития производства и стремится сократить затраты и выпустить продукцию заданного количества и качества в установленные сроки и в установленном месте.

Именно осуществление логистического обслуживания является одной из самых главных задач логистики, а разработка стратегии логистического обслуживания – одной из главных задач предприятия.

Анализ последних исследований

Проблемам развития логистики в целом, а также процессам формирования логистического обслуживания и соответствующей оценки посвящены работы как отечественных, так и зарубежных авторов: Гаджинскго А.М., Дж. Бауэрсокса, Дейвида Дж. Клосса, Миротина Л.Б., Стока Дж.Р., Ламберта Д.М., Чухрай Н., Рысева Н.Ю., Ташбаева Ы.Э., Касенова А.Г. и др.

В работах ученых рассмотрено состояние и перспективы развития логистики, факторы повышения конкурентоспособности и стратегии развития предприятий в сфере логистического обслуживания на современном этапе. Одной из главных проблем в достижении эффективности системы обслуживания являются резкие всплески поступлений заказов [1]. При этом остаются недостаточно рассмотренными вопросы планирования последовательности логистического обслуживания потребителей.

Цель статьи

Формирование подхода к логистическому обслуживанию потребителей с учетом особенностей функционирования концепции CRM.

Основной раздел

Проблема оптимизации качества логистического сервиса заключается в определении количества и уровня оказания услуг, по которому затраты на предоставление и обслуживание этих услуг будут минимальными. Сервис часто состоит из системы более мелких операций, причем эти операции оценивает покупатель. Качество и привлекательность сервиса зависят от способности покупателя оценить его в конечном итоге, в общем виде.

На предприятии, имеющем отдел логистики, все функции, необходимые для эффективного выполнения заказов, объединяются в единый управляемый механизм, позволяющий профессионально и ответственно решать задачи практически любой степени сложности.

Лояльность клиентов нельзя купить баллами, скидками или наградами. Это тяжелая длительная работа, цель которой – удовлетворение требований каждого клиента. Достичь этой цели помогает Customer Relationship Management (CRM). Это концепция управления предприятием, которая основывается на совершенном знании потребностей и предпочтений клиентов, а также приспособлении действий организации к этим требованиям. Этим поставщик улучшает свой имидж на рынке, привлекает новых клиентов высоким качеством обслуживания и получаемой от этого добавленной стоимостью [2].

Данные системы направлены на создание обширной базы клиентов, которая как раз и является для предприятия долгосрочным конкурентным преимуществом. Итак, CRM помогает организациям улучшать лояльность клиентов. Для совершенствования отношений с клиентами необходима особая активность лиц, участвующих в процессе продажи, чтобы не только заинтересовать клиента предложенным ассортиментом и склонить его к закупке, но и завязать с ним долговременные отношения как с лояльным покупателем. Помочь в этом может внедрение на предприятии одной из современных систем Efficient Consumer Response (ECR), которая основывается на системе Customer Relationship Management (CRM).

В составе такой системной структуры выделяют:

● различные системы сбора информации о клиентах, частично включающие SFA (Sales Force Automation) – автоматизацию деятельности торговых представителей;

● ряд логистических баз данных, обеспечивающих анализ на уровне продукта (его продаж), но слабо интегрированных с источниками другой информации;

● системы доставки информации до клиента (прямая почтовая рассылка и т.д.);

● базовые аналитические инструменты, используемые для анализа поведения покупателя при дискретной покупке, но без учета его жизненного цикла [3].

Не менее важную роль в реализации CRM-стратегии играют инструменты, которые должны обеспечить как оперативный, так и стратегический анализ, а также оценку ситуации и поддержку принятия управленческих решений в области маркетинга и сбыта продукции предприятия. CRM-стратегия поддерживается следующими инструментами:

● оперативные CRM-инструменты, предоставляющие оперативный доступ к данным о клиенте в процессе взаимодействия с ним в рамках таких бизнес-процессов как продажи, обслуживание и т.п., а также обеспечивающие сбор этих данных.

● CRM-взаимодействие – инструменты, обеспечивающие возможность взаимодействия компании со своими потребителями. Включают телефоны, электронную почту, чаты, интернет-форумы и т.д.

● аналитические CRM-инструменты, обеспечивающие объединение разрозненных массивов данных и их совместный анализ для выработки наиболее эффективных стратегий маркетинга, продаж, обслуживания клиентов и т.п. Требуют хорошей интеграции систем, большого объема наработанных статистических данных, хорошего аналитического инструментария [4].

На рис. 1. представлены основные бизнес-задачи, решаемые системой Customer Relationship Management (CRM).

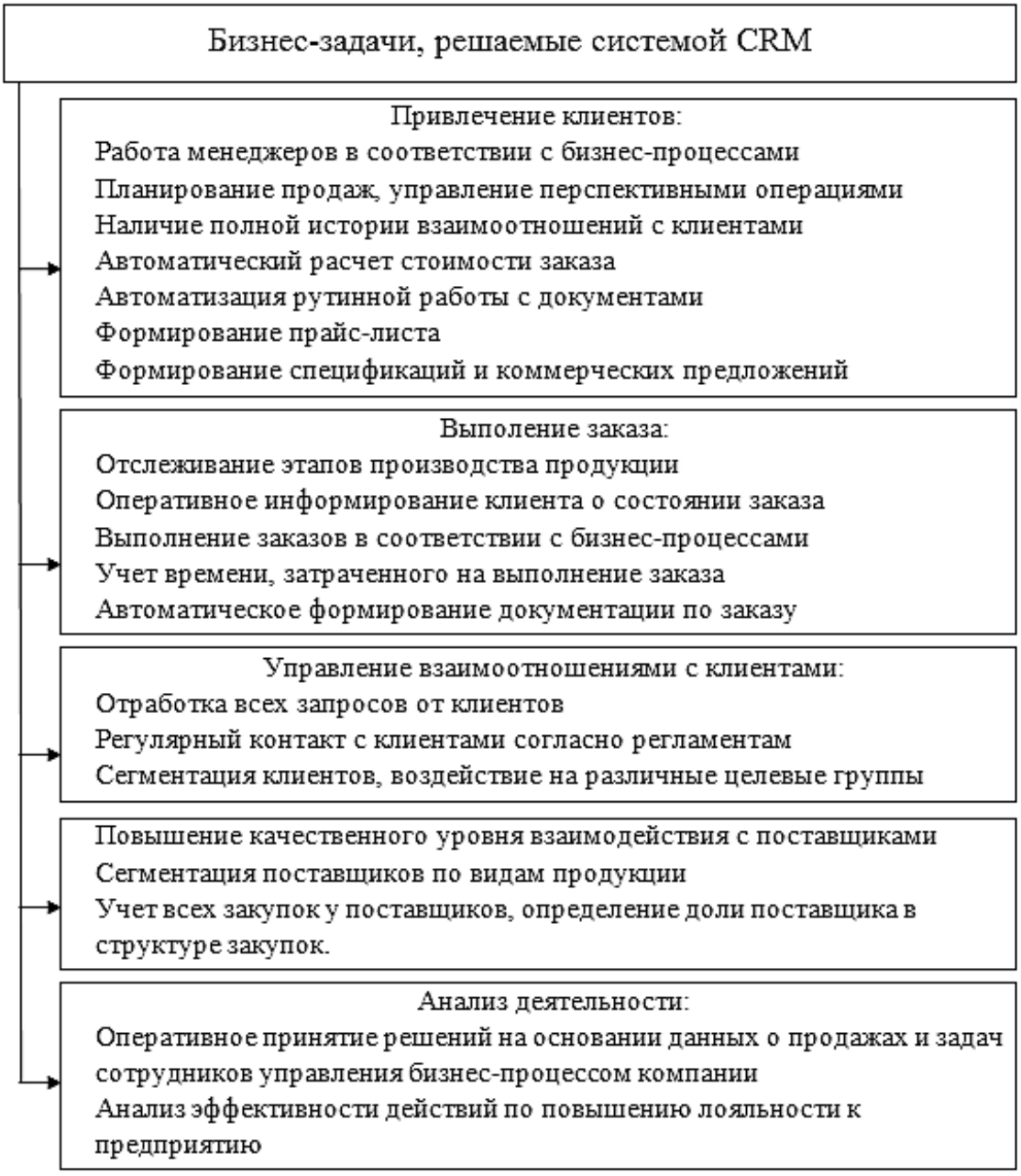


Рис. 1. Бизнес-задачи, решаемые системой CRM

CRM представляет собой современный подход, включающий в себя стратегическое планирование, методы маркетинга, организационные и технические средства, – весь комплекс средств, направленных на построение таких внутренних и внешних отношений, которые увеличивают производительность и прибыль компании. CRM-системы подкрепляют стратегию построения долгосрочных отношений с клиентами [5].

Инвестиции в CRM – это, безусловно, инновационный поход к развитию своего бизнеса, но никто не собирается строить деловые отношения на принципах благонадежности. Имея представление о внедрении ERP-систем на предприятии, можно оценить затраты на внедрение CRM достаточно просто – путем умножения стоимости ERP-внедрения в два раза (табл. 1.).

Таблица 1

Среднестатистические годовые затраты на CRM-системы

Специфика рынка	Средний уровень инвестиций в млн. дол.
Охрана здоровья	3-5
Промышленное производство, в т.ч. компьютерные технологии	5-8
Производственная деятельность	6-8
Производство технического оборудования	8-10

Правильно сформированная система обеспечения сервисного обслуживания позволяет в комплексе оценить результативность логистического менеджмента и является основой планирования, учета и контроля в логистике.

Среди принципиальных выгод от внедрения CRM-системы особенно можно отметить:

● расширение возможностей компании с привлечением новых клиентов и удержанием уже существующих – до 20%;

● повышение ценности клиента для компании – от 35 до 40%;

● повышение уровня обслуживания без привлечения дополнительных затрат – 60%.

Разработка стратегии логистического обслуживания строится на использовании следующих методов:

● по реакции потребителей определяются наиболее эффективные каналы обслуживания, которым и отдаются предпочтения развития;

● соотношение затраты-доходы; затраты и сервис сопоставляются с ростом доходов (объема продаж);

● АВС-анализ обслуживания – направлен на особое внимание к прибыльным покупателям и их выявление (матрица товар-покупатель).

Существует пять стратегий обслуживания клиентов с точки зрения открытой конкуренции:

1. Стратегия низких затрат на обслуживание (затратного лидерства).
2. Стратегия подбора клиентов.
3. Стратегия логистических навыков.
4. Стратегия важнейшего элемента обслуживания.
5. Стратегия trade-offs.

Основные составляющие логистической стратегии сервисного обслуживания, направленные на удовлетворение потребностей клиента, можно представить следующим образом (рис. 2).

В данном случае представлено единство, целостность и взаимодействие внешних и внутренних факторов логистической стратегии сервисного обслуживания предприятия, направленного на удовлетворение потребностей клиента.

Важной задачей стратегии, которая разрабатывается и применяется в деятельности предприятий, является установление и поддержание равновесия взаимодействия сервисных компаний с внешней средой, которые должны обеспечить преимущества в конкурентной борьбе. Достигается поставленная цель в сфере логистического обслуживания за счет предоставления ассортимента услуг, наиболее полно отвечающих требованиям клиентов, высокого уровня сервиса.

В предложенном комплексе логистического обслуживания четко прослеживается принцип центризма и многофункциональной зависимости между ее составляющими элементами.

Формирующий элемент представляет собой стратегические цели компании, структуру компании и функции отдельных подразделений, информационно-аналитическую оценку приоритетов и возможностей развития предприятия относительно соблюдения логистической стратегии.

Задача этого блока основана на образовании алгоритма бизнес-процессов, способствующих выполнению целей и задач логистической стратегии.

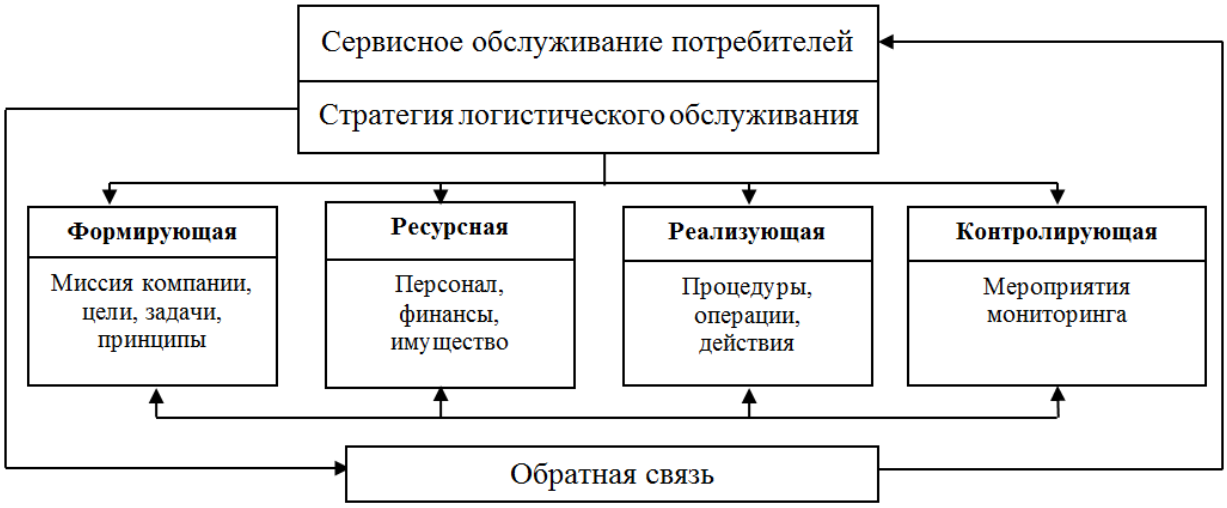


Рис. 2. Элементы логистической стратегии сервисного обслуживания

В рамках ресурсного элемента осуществляется оценка всех финансовых, кадровых, имущественных и других ресурсов предприятия, необходимых для решения приоритетных задач по внедрению логистической стратегии.

Реализующий элемент наиболее разнообразен и структурно неоднороден. В его состав входят конкретные действия, процедуры и операции, обусловленные формирующим элементом и в той или иной степени обеспеченные ресурсным элементом.

Контролирующий элемент включает контроллинг, предусмотренный в формирующем, то есть стратегически установленные меры последовательного и систематического мониторинга реализации каждого процесса.

Логистическая стратегия должна включать обязательные элементы каждого блока, которые формируют динамическое взаимодействие ее основных подсистем и круга взаимодействий (рис.3).

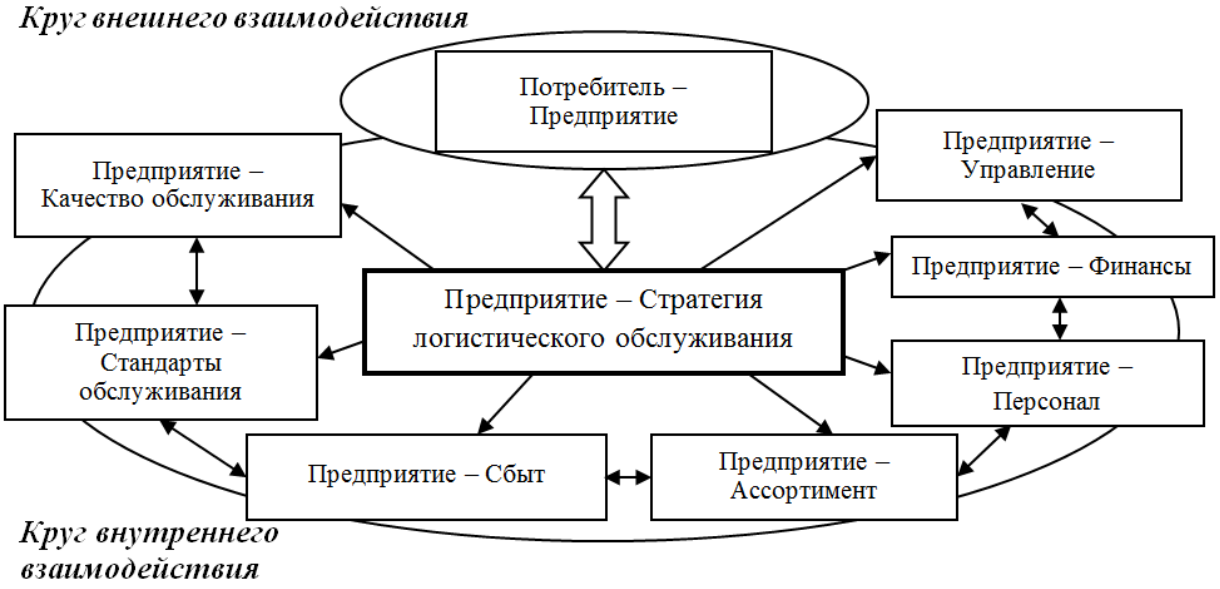


Рис. 3. Динамическая структура взаимодействия основных подсистем логистической стратегии сервисного обслуживания

Таким образом, система стратегии логистического обслуживания существует на условиях взаимопроникновения и взаимовлияния всех подсистем обслуживания и представляет собой так называемый круг внутренних взаимодействий.

Процесс реализации логистической стратегии направлен на клиента, то есть круг внешних взаимодействий, характеризует клиента со стороны главной или центральной фигуры. Именно поэтому логистическая стратегия сервисного обслуживания предприятий приобретает четко концентрированное на клиенте направление.

В предлагаемой к рассмотрению логистической стратегии концентрации на клиенте для удовлетворения его потребностей отражаются основные компоненты предприятия, на которые оказывает воздействие совокупность социальных, экономических, финансовых, инновационных, информационных и других факторов.

Основными компонентами логистической стратегии являются:

● стремление быть высокоэффективным производителем с низкими производственными затратами и качеством предоставляемых услуг;

● развитие проектов новых услуг, внедрение систем собственного производства;

● применение современных производственных и информационных технологий.

Ключевыми факторами, определяющими конкурентоспособность предприятия является тщательное изучение рынка, анализ, его динамика, изучение отношений, складывающихся между компанией и потребителями, а также анализ деятельности конкурентов, разработка предложений по выпуску новых услуг, управление ассортиментом предоставляемых услуг, формирование марочной политики, повышение конкурентоспособности, формирование стратегии и тактики изменения цен, установление скидок и надбавок к ценам, учет затрат на маркетинг, реклама, персональные продажи, стимулирование продаж.

Эта политика обусловливает осуществление таких мероприятий, как оптимизация предоставляемых услуг, разработка новых видов услуг, обеспечение лучшего ассортимента услуг, которые предоставляются фирмой, организация сервисного обслуживания на должном уровне, послепродажные контакты с потребителями.

Кроме того, необходимы регулярный контроль и четкая система использования результатов контроля, которые известны персоналу предприятия и влияют на размеры его вознаграждения.

Полученная информация учитывается при аттестации персонала и руководителей подразделений и влияет на распределение премий, надбавок, на продвижение сотрудников по служебной лестнице. Такая система оценки их труда стимулирует сотрудников предоставлять клиентам отличный сервис. Систематизированные данные позволяют выявить недостатки в обслуживании и принять соответствующие меры.

Немаловажную роль играет диагностика недостатков: информация по таким компонентам обслуживания, как, например, «работа с возражениями покупателя», и по отдельным специфическим стандартам работы персонала, например, «информирование о специальных возможностях в предоставлении услуги», позволяет направить в случае необходимости следующий тренинг персонала в нужное русло.

Итак, можно выделить 3 основные цели использования CRM-систем:

● оперативное (оперативный доступ к информации в ходе контакта с клиентом в процессе продаж и обслуживания);

● аналитическое (совместный анализ данных, характеризующих деятельность как клиента, так и фирмы, получение новых знаний, выводов, рекомендаций)

● коллаборационное (клиент непосредственно участвует в деятельности фирмы и влияет на процессы разработки продукта, его производства, сервисного обслуживания) [6].

Вывод

Таким образом, система CRM не только позволяет добиться прироста продаж за счет более качественной работы с клиентами, а также снижения затрат за счет автоматизации всех процессов и интеграции работы отделов, но и позволяет высвободить время сотрудников, и особенно руководителей, от контроля выполняемой работы для более эффективного использования этого времени.

Для того чтобы система стала эффективной, необходимо выявить и использовать факторы формирования и повышения эффективности. Недооценивать организацию работы с потребителями, а также с конкурентной средой нельзя. Все данные о контактах должны быть учтены и в дальнейшем проанализированы для выделения «узких» мест в работе с клиентом, формирования политики обслуживания и расчетов затрат в этом направлении.

При этом выбор наиболее адаптированных технологий обслуживания CRM-системы и инструментов мониторинга обеспечит долговременные отношения с клиентами и улучшение качества обслуживания.

Список литературы

1. Миротин Л.Б., Ташбаев Ы.Э., Касенов А.Г. Логистика: обслуживание потребителей. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 190 с.

2. Маркетинг и логистика: концептуальные основы и стратегические решения: Уч. пособие в схемах и таблицах. / С.В. Смеричевская, М.В. Жаболенко, С.В. Чернышева и др.: под. общ. ред. С.В. Смеричевской. – Львов: «Магнолия 2006», 2013. – 552 с.

3. Управление взаимоотношениями с клиентами. Заметки о CRM. Лошков В. // http://crmcom.ru, Ноябрь 2006 г.

4. Управление комплексом маркетинга предприятия на основе CRM-технологий. С.В. Картышов, И.А. Кульчицкая, Н.М. Поташников. // Маркетинг в России и за рубежом. – 2005. – №2.

5. Чухрай Н. Логистическое обслуживание: Учебник. – Львов: «Львовская политехника», 2006. – 292 с.

6. Васин Ю.В., Лаврентьев Л.Г., Самсонов А.В. Эффективные программы лояльности. Как привлечь и удержать клиентов. – М.: Альпина, 2005. – 340с.

Жаболенко М.В. Формування системи логістичного обслуговування на основі концепції CRM

Анотація. *У даній статті розглянуто підходи до вдосконалення відносин з клієнтами в рамках логістичного обслуговування на базі Customer Relationship Management (CRM); визначено основні бізнес-завдання, які вирішуються системою CRM; представлено основні складові логістичної стратегії сервісного обслуговування.*

Ключові слова: *логістична стратегія, сервісне обслуговування, потреби, клієнт, технології.*

Zhabolenko M.V. Formation of logistics service system based on the concept of CRM

Abstract. *This article describes the approaches to improving customer relations in the framework of logistic services based Customer Relationship Management (CRM); the basic business problems solved CRM system; the key components of the logistics service strategy.*

Keywords*: sourcing, service, needs, a client, technology.*

Стаття надійшла до редакції 22.10.2015 р.

УДК 347.763 (656.135)

КАЛИНИН А.В., ст. преподаватель
Донецкая академия автомобильного транспорта

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ВНУТРИ КУЗОВНОЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУЗА ВО ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

С целью изучения вопроса повышения качества транспортных услуг проведен анализ факторов, влияющих на физико-химические свойства грузов во время транспортировки автомобильным транспортом.
Ключевые слова: *вибрация, колебания, транспортировка, груз, автомобиль, нагрузка, жесткость, свойства физико-химические, подвеска, дорога.*

Постановка проблемы

В настоящее время объективные условия экономического развития предъявляют повышенные требования к эффективности управления процессом перевозки товаров по логистической цепи и одновременно к минимизации транспортных затрат [1]. Необходимо отметить, что качество транспортного обслуживания характеризуется не только экономичностью доставки, но и сохранностью товара как в технологическом процессе транспортировки, так и в момент передачи груза от перевозчика к конечному потребителю. Эффективность функционирования потребителей транспортных услуг зависит как от величины тарифа на доставку, так и от таких аспектов качества доставки, как своевременность, сохранность и др. На практике при выборе варианта доставки грузоотправители и грузополучатели часто учитывают лишь основную часть расходов, связанных с доставкой, – транспортные издержки. Остальные расходы, обусловленные недостаточным уровнем качества доставки, учитываются обычно как издержки основного производства.

В современных условиях особое значение приобретает критерий надежности доставки. Как известно, любая логистическая система характеризуется той или иной степенью надежности. При обеспечении требуемого уровня надежности функционирования системы доставки грузополучатели смогут планировать поставки в оптимальных объемах, определять точные размеры страховых запасов. Отсюда вытекает актуальность решения задачи точного определения надежности функционирования системы доставки.

Анализ последних исследований и публикаций

Наиболее важными с точки зрения вклада в изучение явлений, связанных с динамическими процессами, протекающими в транспортной системе за счет работы подвески, являются труды А.А. Хачатурова, А.А. Силаева, В.П. Тарасика, В.Б. Проскурякова, М.С. Высоцкого, Р.В. Ротенберга, Н.Н. Яценко, В.В. Новикова, Rakheja S., Balike K.P., Lohman B., Chen W., Kim W., Kang J. и многих других.

В результате многочисленных проведенных исследований вышеперечисленными авторами были выявлены динамические процессы, протекающие в транспортной системе за счет работы подвески, но исследования влияния колебательного процесса во время транспортировки на физико-химическое состояния груза не проводились.

Цель исследования

Выявить основные факторы влияния на сохранность груза и выделить составляющие колебательного процесса во время транспортировки.

Основной раздел

Уровень сохранности по количеству и качеству может быть выражен через процент грузов, потерянных при доставке, от общего количества доставленных грузов. Аналогичным образом используется показатель процента грузов, испорченных при доставке, от общего количества доставленных грузов для определения уровня сохранности по качеству. В зависимости от ценности грузов устанавливаются нормативы их потери (чем дороже грузы, тем ниже допустимый процент их потери). Обычно процент потери не должен превышать 1% [2, 4].

Во время перевозки в кузове грузового автомобиля грузы подвергаются воздействию следующих сил:

а) собственного веса перевозимого товара (штучные грузы в несколько рядов или укрупненные в грузовую единицу);

б) трения, возникающие между грузом и полом кузова или подстилочным материалом, а также между грузами (укладка в ряд и елочным способом);

в) инерции, возникающие при движении автомобиля по неровным (некачественным) участкам дороги;

г) резкие торможения и ускорения;

д) перепады движения из резкого подъема в спуск и наоборот.

Автомобиль передвигается по различным типам дорог, которые, как известно, являются основным источником возмущений и вибраций, отрицательно сказывающихся как на автомобиле в целом, так и на перевозимых грузах в частности. Достаточно точно оценить столь большое количество воздействий практически невозможно, так как состояние дорожной поверхности зависит не только от местности, но и от интенсивности движения автомобилей и частоты и качества дорожно-ремонтных работ. Но, тем не менее, для оценки и анализа эксплуатационных свойств автотранспортного средства используют упрощенную классификацию типов дорожной поверхности [4-6].

Основными факторами, влияющими на вибрационную нагруженность грузового автотранспортного средства, являются условия эксплуатации: транспортные, дорожные и климатические. Основными причинами возникновения колебаний автомобиля являются дорожные неровности. На дорогах с асфальтобетонным покрытием неровности имеют различные размеры и очертания. Они бывают двух видов: неровности высотой 3...5 мм и длиной 8...10 мм, называемые микронеровностями, а также высотой 10...12 мм и длиной 5...8 м, называемые волнами [5].

Колебания автомобиля, вызванные дорожными неровностями, оказывают существенное влияние на плавность хода и, следовательно, на состояние водителя, сохранность груза и самого автомобиля. Так, например, при длительном воздействии колебаний некоторые виды грузов деформируются или портятся. При этом значительное влияние на них оказывают скорость и ускорение колебаний.

С увеличением скорости колебаний плавность хода автомобиля ухудшается.

Ниже приведена характеристика колебаний в зависимости от их скорости [4-8], м/с:

Неощутимые колебания	0,035
Едва ощутимые колебания	0,035...0,1
Вполне ощутимые колебания	0,1...0,2
Сильно ощутимые колебания	0,2...0,3
Неприятные и очень неприятные колебания	0,3...0,4

Воздействие ускорений на сам товар и водителя в значительной степени зависит от частоты колебаний.

Во время движения в различных скоростных режимах кузов автомобиля испытывает сложные колебательные движения. Эти колебания возбуждаются динамическими усилиями и обусловливаются неровностями пути, наличием выбоин, а также наличием неровностей на этой поверхности, непостоянством физических свойств материалов дорожного покрытия, типом рессорного подвешивания, изменением скорости автомобиля и другими [6].

Рессорное подвешивание и гасители колебаний, применяемые в автомобилях, уменьшают влияние динамических усилий и обеспечивают более плавное движение автомобиля. Однако действие этих усилий (вертикальных, поперечных и продольных) настолько существенно, что обрессоренные массы автомобиля приходят в колебательное состояние.

Можно выделить следующие вибрационно-колебательные процессы внутри кузова автомобиля в процессе транспортировки груза [5-7]:

– подпрыгивание – обрессоренные части автомобиля перемещаются вверх и вниз параллельно первоначальному положению – возникает под действием вертикальных динамических сил, вызывающих одинаковые ускорения по концам кузова.

– продольная качка – обрессоренные части автомобиля совершают вращательное движение относительно оси *y–y* на некоторый угол ±θ – возникает от ударов колес при наличии выбоин (значительные повреждения дорожного полотна) или от неуравновешенности кузова. Продольная качка кузова автомобиля обычно возникает одновременно с подпрыгиванием.

– колебания поперечного относа – кузов и ходовая часть автомобиля перемещаются вдоль оси *y–y*. Этот вид колебаний возникает совместно с колебаниями боковой качки под действием горизонтальных боковых сил, параллельных оси.

– виляние, когда кузов вращается вокруг вертикальной оси на некоторый угол ±ψ, вызывается коничностью поверхности колес, неправильной установкой колесных пар, неодинаковой величиной диаметра колес, извилистостью пути.

– подергивание – перемещение автомобиля вдоль оси *x–x*. Оно появляется при трогании автомобиля с места, торможении вследствие неуравновешенности поступательно движущихся масс автомобиля.

Названные выше колебательные процессы могут проявляться отдельно и совместно с другими видами, поэтому автомобиль совершает сложное движение. Зная причины появления колебаний и их характер, можно определить условия устойчивого и безопасного движения автомобиля, тем самым обеспечить максимальную сохранность груза**.** К динамическим характеристикам автомобиля относятся периоды различных видов колебаний, коэффициенты динамики и критические скорости. В динамике автомобилей различают собственные колебания, которые происходят от начального толчка без воздействия в дальнейшем на надрессорное строение каких-либо внешних сил, и вынужденные колебания, возникающие под влиянием периодически меняющейся силы, которую обычно называют возмущающей.

Частота собственных колебаний зависит от массы надрессорных частей кузова и жесткости рессорного подвешивания. Частота вынужденных колебаний равна частоте изменений возмущающей силы [9-10].

Механическими колебаниями, возникающими во время движения автомобиля, называют движения тела, повторяющиеся точно или приблизительно через одинаковые промежутки времени. Основными характеристиками механических колебаний являются: смещение, амплитуда, частота, период [10-12].

Отметим, что грузовой автомобиль – сложная механическая система, состоящая из взаимодействующих элементов и подверженная комплексу внешних воздействий, предназначенная

для перемещения грузов по дорогам с твердым и булыжным покрытием в сухое время года (Рис. 1).

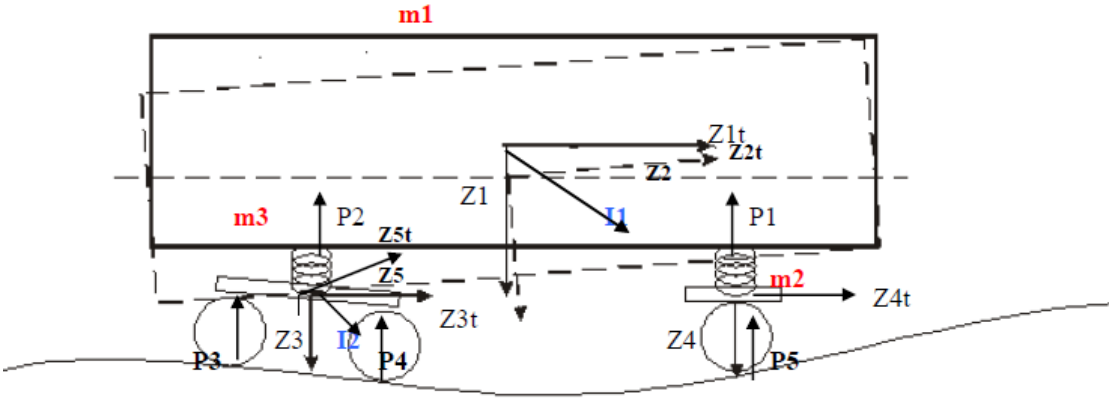


Рис.1. Расчетная схема автомобиля для анализа вертикальных сил взаимодействия между колесами и дорожным полотном во время движения грузового автомобиля.

m1 – масса кузова вагона; m2 – масса упругоподвешенной части тележки; I1 – момент инерции кузова относительно поперечной горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести кузова; I2 – момент инерции упругоподвешенной части тележки относительно поперечной горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести этой части тележки; c1 – жесткость центральной ступени упругого подвешивания тележки в вертикальном направлении; k1 – вязкое трение центральной ступени упругого подвешивания тележки в вертикальном направлении; l1 – половина базы вагона; l2 – половина базы тележки.

Корпус имеет две степени свободы: (Z1, Z1t) – аппликата центра масс и скорость колебаний подпрыгивания; (Z2, Z2t) – угол продольной качки и скорость колебаний продольной качки. На корпус со стороны упругих элементов центральной ступени подвешивания действуют силы P1, P2. Первая тележка имеет одну степень свободы: (Z4, Z4t) – аппликата центра масс и скорость колебаний подпрыгивания. На «сведенное» колесо первой тележки действует реактивный отпор рельса (полотна) P5, рельсовый путь имеет постоянную жесткость и демпфирующие свойства (приведены ниже). Вторая тележка имеет две степени свободы: (Z3, Z3t) – аппликата центра масс и скорость колебаний подпрыгивания; (Z5, Z5t) – угол продольной качки и скорость колебаний продольной качки. На первое колесо второй тележки действует реактивный отпор рельса P4, на второе колесо – P3.

Дополнительно вводятся зависимости, определяющие динамический прогиб рельсовой нити (полотна) и скорость прогиба под колесами первой и второй тележек при подходе к мостовому переходу Z1(t), Z1t(t), Z2(t), Z2t(t), Z3(t), Z3t(t). Скорость движения экипажа постоянная VV.

Связанные колебания элементов грузового автомобиля и пути возможно описать линейной системой дифференциальных уравнений 16-го порядка, а численное интегрирование системы методом Рунге-Кутты может дать искомые зависимости сил реактивного отпора дорожного покрытия как функции времени.

Выводы

Таким образом, зная основополагающие факторы влияния колебательных процессов на структурное состояния груза во время транспортного процесса, очень важно разработать способы, позволяющие на стадии проектирования определить наиболее оптимальные, с точки зрения минимума вибрационных нагрузок, маршруты движения автомобиля при движении по различным типам дорог и с различной скоростью. Причем необходимо учесть влияние не только величины жесткости и демпфирования подвески, но и структуру груза, объемы разовой партии,

вид упаковки, уровень загрузки, класс груза, способ крепления и состояние дорожного покрытия. В дальнейшем планируется определить экспериментальным путем максимальную величину амплитуды колебания разрушительного действия для различных видов груза во время транспортировки груза в различных условиях, в том числе и дальности перевозок. Все это позволит выявить экономическую целесообразность транспортного планирования, позволяющую обеспечить максимальную сохранность груза.

Список литературы

1. Транспортная логистика: Учебник для транспортных вузов. / Под общей редакцией Л.Б. Миротина. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 512 с.

2. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. – Киев: Вища школа, 1986. – 447 с.

3. Автомобильные перевозки. Афанасьев Л.Л. и др. – М.: Изд-во «Транспорт», 1973. – 320 с.

4. Квитко Х.Д. Эффективность использования грузовых автомобилей. – М.: Транспорт, 1979. – 175с.

5. Алексеев С.П., Казаков А.М., Колотилов Н.Н. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении / С.П. Алексеев. – М.: Машиностроение, 1970. – 206 с.

6. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний / А.А. Андронов. – М.: Наука, 1981. – 568 с.

7. Афанасьев, В.Л. Методические указания к изучению случайных колебаний автомобиля / В.Л. Афанасьев. – М.: МАДИ, 1984. – 90 с.

8. Бабаков, И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М.: Наука, 1968. – 554 с.

9. Бабков, В.Ф. и др. Автомобильные дороги / В.Ф. Бабков. – М.: Автотрансиздат, 1953.

10. Марков С.В., Лата В.Н., Еремина И.В. Математическая модель автомобиля для исследования его движения по неровной дороге / С.В. Марков // Третья всероссийская научно-техническая конференция «Современные тенденции развития автостроения в России». – Тольятти. – 2003. – С.133-136.

11. Пархиловский И.Г. Спектральная плотность распределения неровностей микропрофиля дорог и колебания автомобиля / И.Г. Пархиловский // Автомобильная промышленность. – 1961. – № 10.

12. Тихонов, А.А. Исследования вертикальных колебаний колес автомобиля в дорожных условиях // Автомобильная промышленность. – 1957. – № 5. – 16-21.

Калінін А.В. Аналіз впливу вібраційних процесів всередині кузовної частини автомобіля на фізичні властивості вантажу під час руху з метою підвищення якості транспортних послуг

Анотація. *З метою вивчення питань щодо підвищення якості транспортних послуг проведено аналіз факторів, що впливають на фізико-хімічні властивості вантажів під час транспортування автомобільним транспортом.*

Ключові слова: *вібрація, коливання, транспортування, вантаж, автомобіль, навантаження, жорсткість, властивості фізико-хімічні, підвіска, дорога.*

Kalinin A.V. Analysis of the influence of vibration processes inside the body of the car on the physical properties of the cargo during movement, with the aim of improving the quality of transport services

Abstract. *With the aim of exploring questions about improving the quality of transport services, the analysis of factors influencing the physico-chemical properties of cargoes during transportation by road.*

Keywords: *vibration, oscillation, transport, cargo, car, load, stiffness, vibrations, properties, physicochemical, suspension, road.*

Стаття надійшла до редакції 07.11.2015 р.

УДК 629.113

МОЙСЯ Д.Л., ст.викл.,
Донецька академія автомобільного транспорту

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МАНЕВРЕНОСТІ МАКЕТА ТРИЛАНКОВОГО АВТОПОЇЗДА

Описані методи проведення досліджень масштабної моделі триланкового автопоїзда, що дають можливість за кінематичними характеристиками усталеного руху у сукупності з рівняннями рівноваги визначити значення сил відведення та коефіцієнтів опору відведення.
Ключові слова: *триланковий автопоїзд , маневреність , коефіцієнти опору відведення, сили відведення*

Вступ

Математична модель для дослідження маневреності триланкового автопоїзда має деякі припущення та спрощення. Для перевірки адекватності отриманих залежностей дуже важливо провести експериментальні дослідження.

Відомі з багатьох літературних джерел підходи до визначення характеристик потребують достатньо складної лабораторно-технічної бази. Відносно простий шлях вирішення цієї проблеми полягає у використанні стенда карусельного типу. У даній роботі методика визначення сил відведення, що притаманна стенду карусельного типу, переноситься на випадок довільного носія, що забезпечує усталений рух ведених ланок.

Мета статті

Метою роботи є визначення методики, обладнання, приладів та пристроїв для вимірювання необхідних параметрів під час експериментального дослідження маневреності сідельного автопоїзда та визначення коефіцієнтів опору відведення, необхідних для встановлення адекватності пропонованої математичної моделі автопоїзда.

Основний розділ

В експерименті проводилось дослідження триланкового автопоїзда, зображення якого представлено на мал.1.

Макет автопоїзда створювався з електромобіля та двох саморобних напівпричепів.

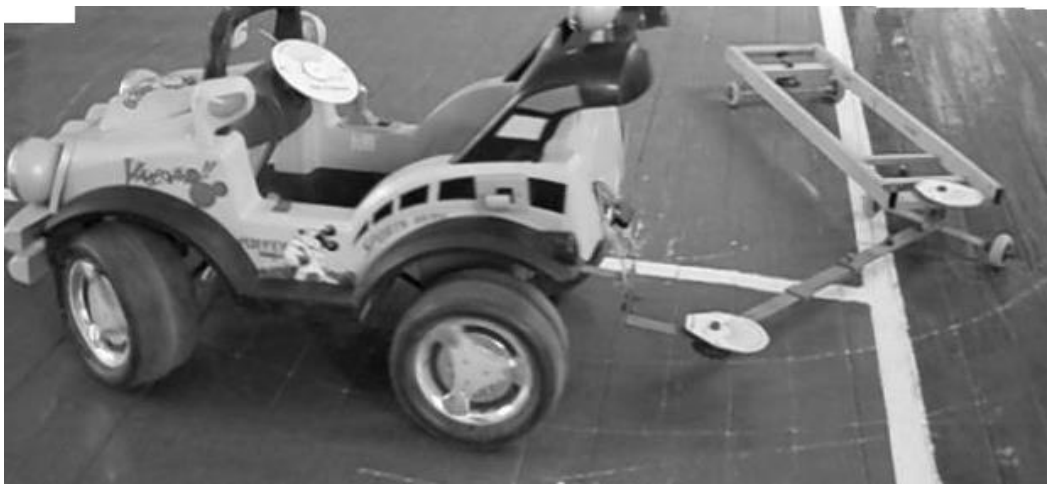


Рис. 1. Загальний вигляд макета автопоїзда

Колеса напівпричепів було виготовлено так, щоб вони мали якості пружного пневматика. Загальну конструкцію колеса відображено на рис. 2.

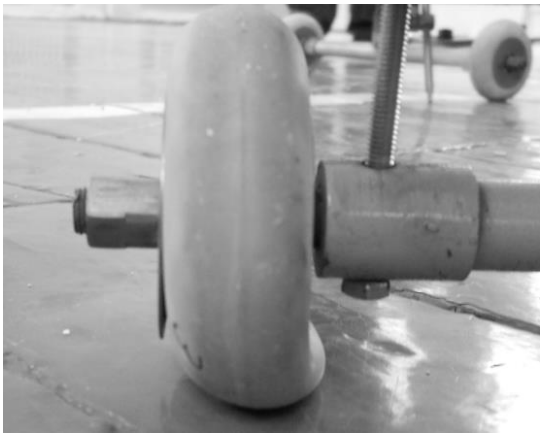


Рис. 2. Загальний вид колеса напівпричепа

Тиск у колесі має можливість регулюватися за рахунок затяжки гайки, що знаходиться на рисунку ліворуч.

У ході проведення експерименту фіксувалися різноманітні параметри: переміщення характерних точок макета автопоїзда, кутова швидкість, кути складання між ланками.

Траєкторії характерних точок макета автопоїзда фіксувалися за допомогою траєкторієвідмітчиків, що були встановлені на тягачу (2 шт.) та напівпричепах (по 1 шт. на кожному).

На рис. 3 зафіксовано процес відображення траєкторії середини передньої вісі тягача. Траєкторієвідмітчик – це шарнірно закріплена зогнута металева трубка в який фіксувалася крейда.

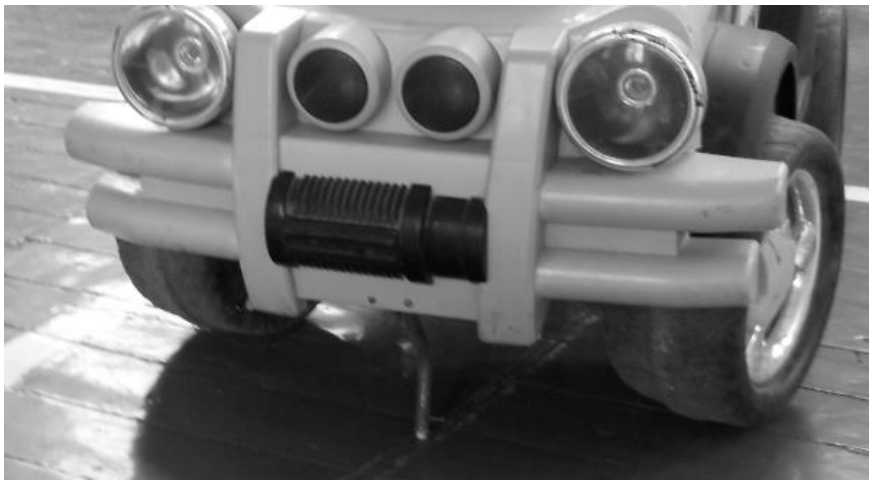


Рис. 3. Траєкторієвідмітчик, встановлений на тягачі.

Кут повороту керованих коліс тягача встановлювався до проведення експерименту. На рульовому колесі тягача було встановлено транспортир, що фіксував кут повороту. Також кут перевірявся транспортиром (рис. 4).

Кути складання напівпричепів вимірювалися за допомогою транспортирів, встановлених в точках з'єднання ланок макета автопоїзда (рис. 5).

План проведення експерименту. Перед проведенням кожного етапу експерименту на тягачі фіксувався кут керованих коліс, далі автопоїзд розпочинав рух. На першому колі автопоїзд входив в усталений рух, далі автопоїзд робив ще два-три кола для перевірки збігу траєкторій руху траєкторієвідмітчиків (якщо траєкторії збігаються – стан вважався усталеним). За допомогою траєкторій, позначених траєкторієвідмітчиками, та за допомогою геометричних побудов

визначався центр повороту автопоїзда. Центр повороту визначався методом засічок, будувалися дві хорди, що проходять через центр кола.

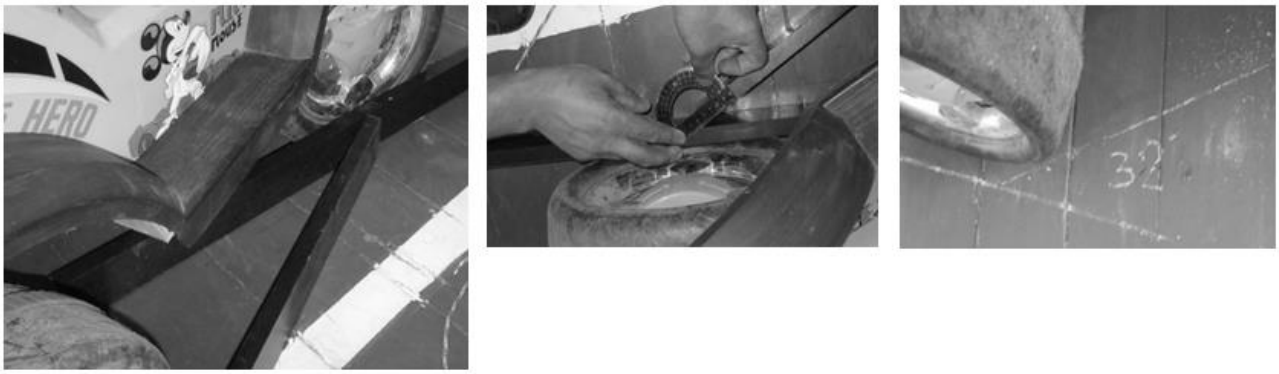


Рис. 4. Вимірювання кута повороту керованих колес за допомогою транспортира.

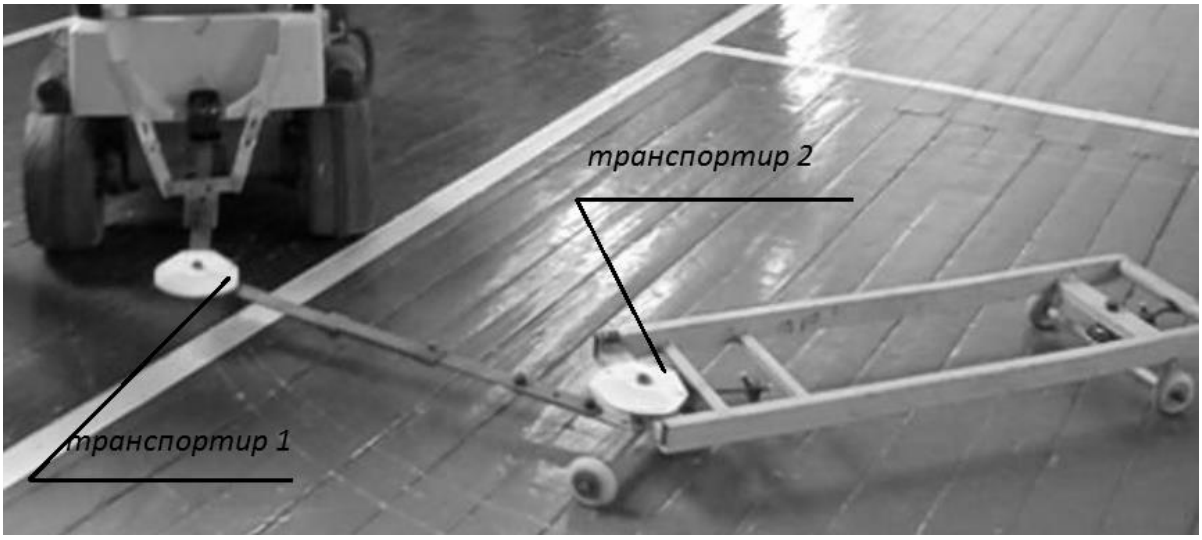


Рис. 5. Розміщення транспортирів в точках з'єднання ланок.

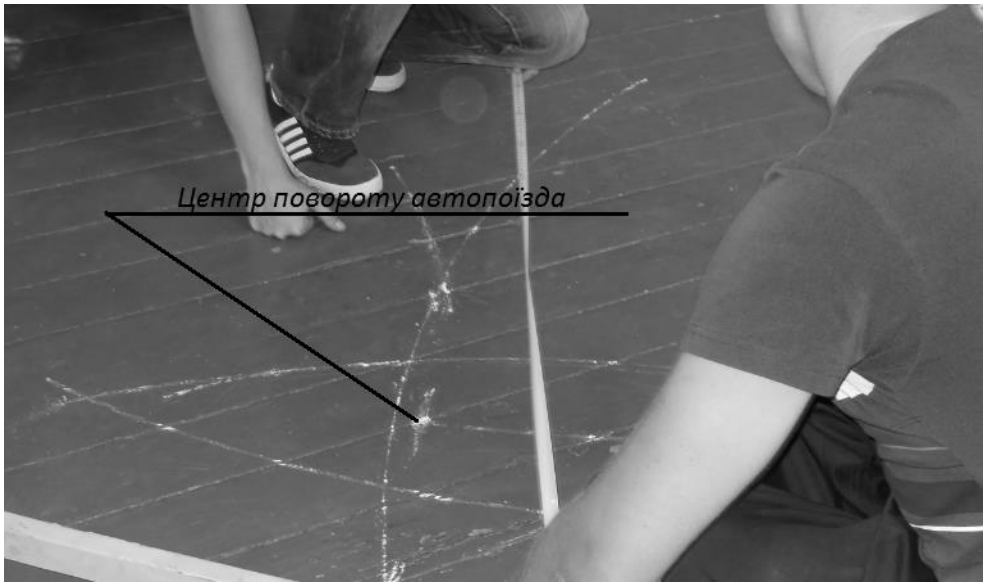


Рис. 6. Визначення центру повороту автопоїзда

Після визначення центру повороту автопоїзда проводилось вимірювання радіусів руху характерних точок:

– Радіуси руху траєкторієвідмітчиків тягача (R_1, R_2);

– Радіуси руху точок зчеплення ланок (R_{O1}, R_{O2});

– Радіус руху центра вісі заднього напівпричепа (R_{O3}).

Під час руху автопоїзда по колу в усталеному стані робився відлік часу проходження одного кола, що дозволило опосередковано оцінювати швидкість руху. Відлік часу фіксувався секундоміром, а також відеознімальним пристроєм, що встановлювався на тягачу.

На нерухомому автопоїзді фіксувалися кути складання напівпричепів.

Обробка даних, отриманих в експерименті. Маючі радіуси руху характерних точок автопоїзда та геометричні розміри його ланок, за допомогою геометричних побудов можливо відтворити конфігурацію автопоїзда і перевірити кути складання, а надалі – кути відведення.

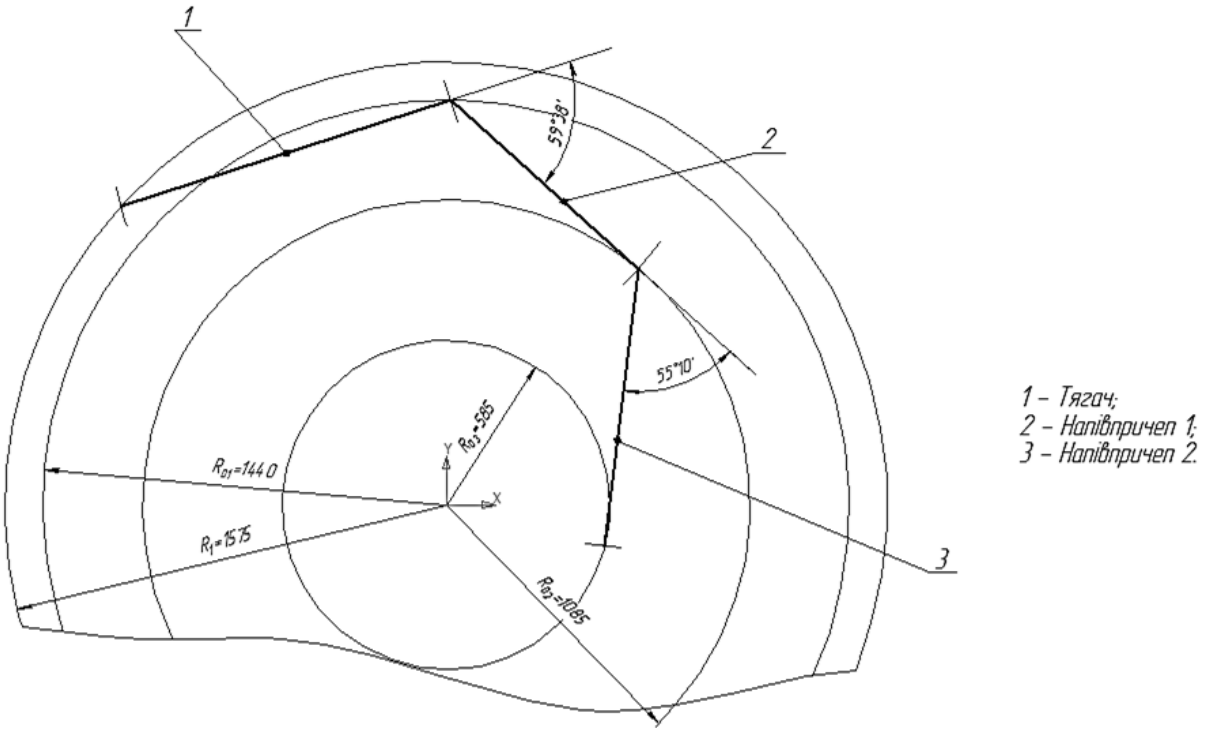


Рис. 7. Конфігурація автопоїзда, побудована графічно

На рисунку 7 відображено конфігурацію автопоїзда в усталеному русі при куті повороту керованих коліс тягача $\theta=32°$. Графічно отримані кути складання $\varphi_1=59°$, $\varphi_2=55°$, що збігається з результатами експерименту (рис.8).

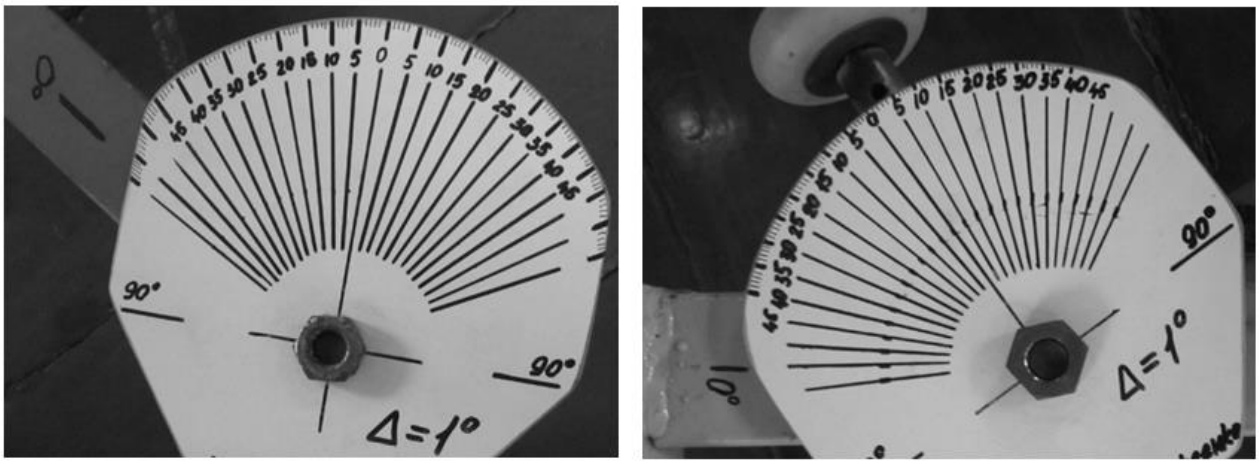


Рис. 8. Значення кута складання першого та другого напівпричепа.

Визначення сил бічного відведення за кінематичними характеристиками встановленого руху. Параметри системи: v_{o1} – поздовжня складова швидкості точки з'єднання тягача й напі-

впричепа 1; ω – кутова швидкість автопоїзда; φ_1', φ_2 – кути складання напівпричепів; m_1, m_2 – маси напівпричепів; d_1, d_2 – відстань від центра мас напівпричепа до точки зчіпки; b_1, b_2 – відстань від центра мас напівпричепа до задньої осі.

Як вказувалось раніше, далі буде розглядатись рух лише ведених ланок, тягач потрібен для того, щоб забезпечити усталений рух ведених ланок.

Рівняння усталеного руху ведених ланок мають вид:

$$-Y_3 \cdot l_1 - Y_4 \cdot l_1 \cdot \cos\phi_2 + (m_1 \cdot d_1 + m_2 \cdot l_1) \cdot \omega \cdot v_{o_1} \cdot \cos\phi_1' - m_2 \cdot d_2 \cdot l_1 \cdot \omega^2 \cdot \sin\phi_2 = 0 \quad (1)$$

$$-Y_4 \cdot l_2 + m_2 \cdot d_2 \cdot l_1 \cdot \omega^2 \cdot \sin\phi_2 + m_2 \cdot d_2 \cdot \omega \cdot v_{o_1} \cdot \cos(\phi_1' + \phi_2) = 0 \quad (2)$$

де $l_1 = d_1 + c_1$; $l_2 = d_2 + c_2$ – бази напівпричепів;

Y_3, Y_4 – сили бічного відведення напівпричепів.

Фізичний смисл рівнянь рівноваги:

– рівняння (1) – сума моментів сил бічного відведення та сил інерції, діючих на обидва напівпричепи, дорівнює нулю.

– рівняння (2) – сума моментів сил бічного відведення та сил інерції, діючих на другий напівпричіп, дорівнює нулю.

Розв'язавши рівняння (1) та (2) відносно Y_3 та Y_4, можливо отримати аналітичні залежності сил бічного відведення:

$$Y_3 = -\frac{1}{l_1 \cdot l_2}\left[\omega \cdot (l_1^2 \cdot m_2 \cdot d_2 \cdot \sin\phi_2 \cdot \cos\phi_2) + v_{o_1} \cdot l_1 \cdot m_2 \cdot d_2 \cdot \cos(\phi_1 + \phi_2) \cdot \cos\phi_2\right] - \\ -\frac{1}{l_1 \cdot l_2}\left[-v_{o_1} \cdot l_2 \cdot m_1 \cdot d_1 \cdot \cos\phi_1 - v_{o_1} \cdot l_2 \cdot m_2 \cdot l_1 \cdot \cos\phi_1 + \omega \cdot l_2 \cdot l_1 \cdot m_2 \cdot d_2 \cdot \sin\phi_2\right];$$

$$Y_4 = \frac{m_2 \cdot d_2 \cdot \omega \cdot (\omega \cdot l_1 \cdot \sin\phi_2 + v_{o_1} \cdot \cos(\phi_1' + \phi_2))}{l_2}.$$

Визначення параметрів системи при встановленому куті керованих коліс тягача θ=15°:

– кутова швидкість:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot 3{,}141}{38} = 0{,}165 \ рад/с;$$

де T=38с – час, за який система описує повне коло.

– поздовжня складова швидкості точки з'єднання тягача й напівпричепа:

$$v_{o1} = \omega \cdot R_{O_1} = 0{,}165 \cdot 2{,}56 = 0{,}421 \ м/с;$$

– відносний кут складання напівпричепа 1 (визначено графічно) $\varphi_1 = 19{,}67°$ (див. рис. 9);

– кут складання напівпричепа 2 (визначено графічно) $\varphi_2 = 20{,}85°$ (див. рис. 9).

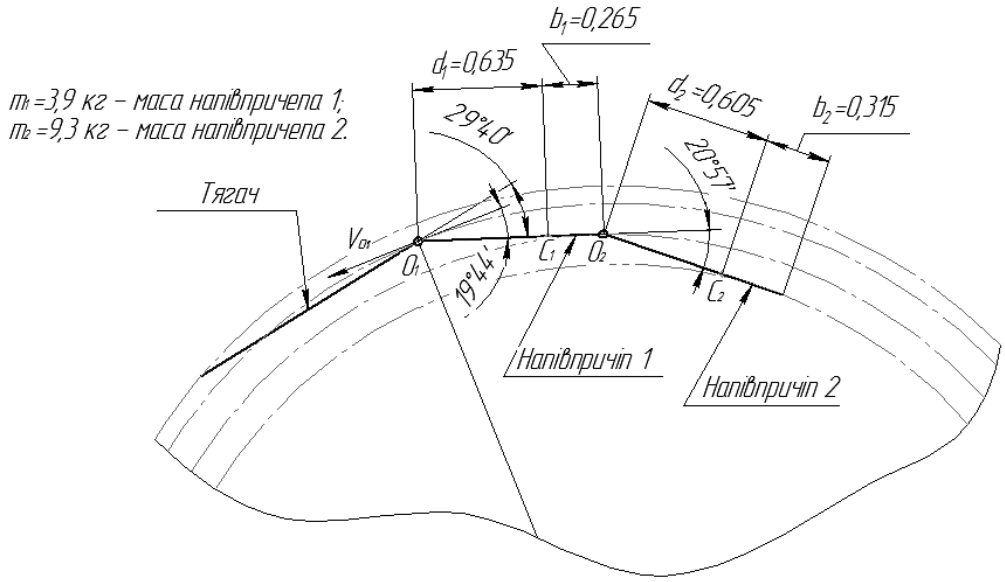


Рис. 9. Графічне визначення кутів складання.

– Значення кутів складання напівпричепів, отримані в ході експерименту, становлять $\varphi_1 \approx 27°$ (див. рис. 1**0)**; $\varphi_2 \approx 22°$ (див. рис. 10).

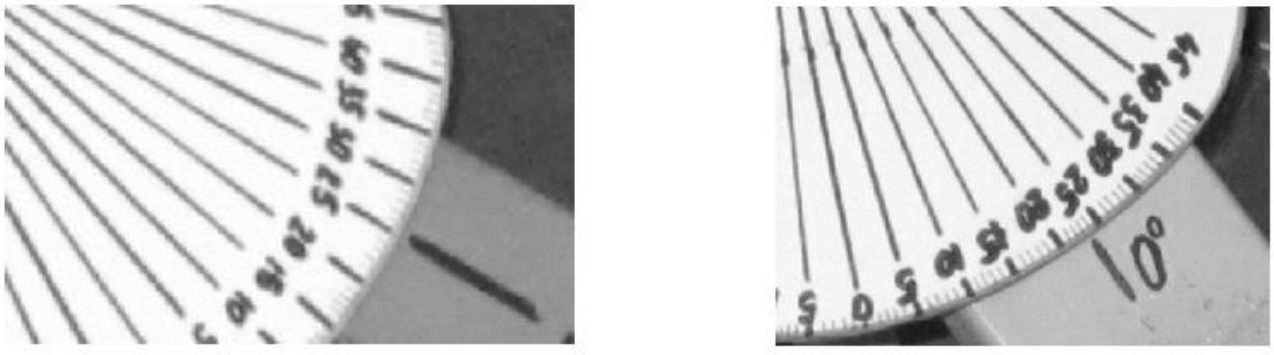


Рис.10. Значення кута складання першого та другого напівпричепа при θ = 15°.

Так, даному набору параметрів відповідають значення сил бічного відведення Y_3 = 0,59 *H* та Y_4 = 0,27 *H*.

Визначення кутів бічного відведення. Кути бічного відведення можливо визначити за кінематичними параметрами напівпричепів, а також геометрично.

Аналітичні залежності кутів бічного відведення мають вид:

$$\delta_3 = \arctan\frac{\left(-u_2 + \omega \cdot b_1\right)}{v_2};$$

$$\delta_4 = \arctan\frac{\left(-u_3 + \omega \cdot b_2\right)}{v_3}.$$

де v_2, v_3, u_2, u_3 – повздовжня та поперечна швидкості напівпричепів (параметри зв'язані з v_{o1}).

Набору раніше наведених параметрів відповідають значення кутів бічного відведення $\delta_3 = 0,85°$, $\delta_4 = 2,36°$.

Значення кутів бічного відведення, побудованих геометрично, див. рис. 11.

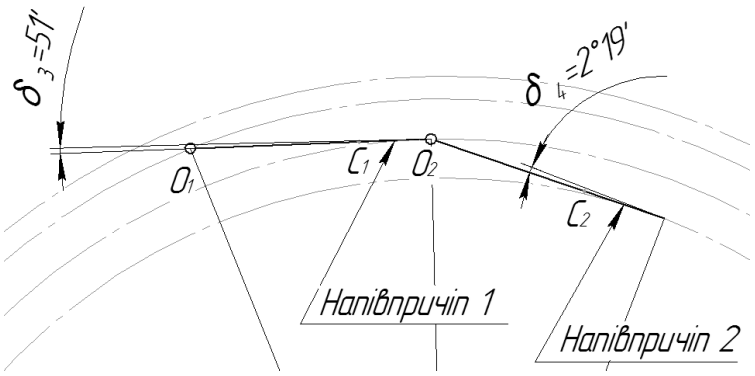


Рис. 11. Геометричне визначення кутів бічного відведення.

Кути бічного відведення, отримані різними методами, практично співпадають.

Висновок

Проведення експериментального дослідження із використанням означених транспортних засобів, обладнання та приладів дозволить отримати значення показників маневреності руху автопоїзда.

Список літератури

1. Рокар И. Неустойчивость в механике. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959. – 288 с.

2. Лобас Л.Г., Вербицкий В.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин. – Киев: Наук. думка, 1990. – 232 с.

3. Эллис Д.Р. Управляемость автомобиля. – М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.

4. Вербицкий В. Г., Загороднов М. И. Определение и анализ устойчивости круговых стационарных режимов движения модели седельного автопоезда // Вісн. Донецьк. ін-ту автомоб. трансп.: Сб. наук. пр. – 2007. – Вып. 1-2. – С.10 – 19.

5. Лобас Л.Г., Вербицкий В.Г. Бифуркации и устойчивость стационарных состояний святки катящихся упруго деформируемых тел. // Известия Академии наук СССР. – Москва. – 1991.

Мойся Д.Л. Экспериментальное определение маневренности макета трехзвенного автопоезда

Аннотация. *Описанные методы проведения исследований масштабной модели трехзвенного автопоезда дают возможность по кинематическим характеристикам установившегося движения в совокупности с уравнениями равновесия определить значение сил отвода и коэффициентов сопротивления отвода*

Ключевые слова: *трехзвенный автопоезд, маневренность, коэффициенты сопротивления отвода, силы отвода*

Moisia D.L. Experimental determination of manoeuvrability of layout of three-unit lorry convoy

Abstract. *The methods of study of three-tier train scale model are described, which give opportunity according to kinematic characteristics of steady motion to define value of withdrawal force and withdrawal resistance factor.*

Keywords: *three-tier train, manoeuvrability, withdrawal resistance factor, withdrawal force*

Стаття надійшла до редакції 25.10.2015 р.

УДК 629.113

КОМОВ А.Б., к.т.н., доцент; КОМОВ П.Б., к.т.н., доцент,
Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ «ДонНТУ»

ПАРАДИГМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Представлены результаты исследования организации технической эксплуатации. Очерчена современная парадигма и требования к подготовке специалистов
***Ключевые слова**: эксплуатация, организация, парадигма, образование*

Постановка проблемы

Парадигма (от греческого *paradeigma* – пример) – это некоторая явственно очерченная концепция, стиль мышления и методологии, т.е. концептуальная модель постановки проблем и их решения, господствующая в течение определенного исторического периода в научном сообществе. В целом – это особый способ организации научного знания, задающий то или иное видение мира и, соответственно, образцы и модели постановки и решения исследовательских задач [1].

Смена парадигмы рассматривается как научная революция, которая в настоящее время уже явственно просматривается в образовании, где появляются не только новые педагогические понятия и термины (личностно ориентированное обучение, инновационные, педагогические и психологические технологии, мониторинг профессионального развития, организация учебно-пространственной среды и др.), но и формируются абсолютно новые требования к стандартам образования [2].

Наука о технической эксплуатации (ТЭ) автомобилей обладает сегодня достаточно мощным потенциалом, который позволяет ей адекватно ответить на многие требования цивилизации и занять достойное место, определенное ей историей, в системе подготовки специалистов для автомобильного транспорта (АТ).

Приметой цивилизации нашего времени является глобализация – процесс интеграции человечества в сложную взаимосвязанную единую планетарную систему и качественно новый уровень деятельности человека, который основан на новейших достижениях науки и техники. Глобализация как планетарный масштаб деятельности является выражением существенных связей общественного развития и поэтому представляет собой необходимость.

Однако современный этап глобализации, возглавляемый Западом, – это также и корпоративная неолиберальная модель. По своей сути это модель социальной направленности, которая служит, прежде всего, интересам избранных стран [3], а поэтому глобализация для отечественной, так называемой отраслевой, модели ТЭ является выражением научно-практических интересов АТ лишь стран Запада, что в развитии ТЭ формирует точку бифуркации и, соответственно, аттракторы её развития.

«Точка бифуркации» и «аттракторы» – это исходные понятия синергетики, т.е. соответственно это: состояние системы, после которого возможно некоторое множество вариантов дальнейшего развития; множество траекторий, по которым возможно развитие системы после точки бифуркации [4].

Синергетика – наука, которая, широко использует достижения математики и естественных наук, возможности современных компьютеров, а фокусирует свое внимание на нестабильности и неравномерности как на естественном состоянии системы. Суммарная структурная устойчивость систем здесь рассматривается как результат частичных устойчивостей составляющих, т.е. в синергетике действует закон «минимизма» или принцип наименьшего действия. Этот закон

известен и широко используется в биологии (закон выживания), агрохимии (формула урожайности), кибернетике (теория вето) и т.д. [4].

Мерилом устойчивости в синергетике выступает самое неустойчивое звено, которым для ТЭ сегодня явилась практика. Практика для ТЭ как организационной системы – это её среда, которая способна изменять либо консервировать любую из таких систем. При этом чем консервативнее среда, тем незыблемее организационная система, которая всегда повторяет колебания среды, отзываясь на них [4].

В практике ТЭ, если использовать терминологию современных предпринимательских отношений, сложилась ситуация, которая характеризуется как утрата ТЭ своего спроса в отрасли. Для отечественной ТЭ она означает, прежде всего, наличие серьёзных аномалий, которые проявились в период реформ АТ, что сегодня требует своего обязательного учёта, а возможно, и даже отказа от традиционных моделей ТЭ [5].

В целом это объективный процесс, т.к. общеизвестно, что важной закономерностью экономического развития любого общества является его последовательная трансформация. В XIX веке это переход от аграрной системы к индустриальной, а на рубеже XX – XXI в.в. это проведение терциарной революции, которая в развитых странах превратила сектор услуг в ведущую составную часть постиндустриальной экономики – экономику услуг. Она обусловлена поступательным движением производительных сил и, соответственно, возрастанием в обществе производительности труда и др. факторов производства. В результате вклад сферы услуг в экономический рост стал существенно превосходить вклад промышленности (60% всего работающего населения и 70% ВВП [6]).

Второй особенностью постиндустриальной экономики мира является революция информационная. Ее суть – информатизация всей жизни общества. Сегодня информация превратилась в важнейший вид ресурсов, используемый человеком. Именно поэтому современное общество называют информационным. Здесь выявлены не только высокая степень корреляции показателей экономического роста и уровня развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), но и тенденция к усилению роли ИКТ как средства экономического роста и даже основного условия этого роста.

Показателями информатизации являются компьютеризация экономики и быта, глобализация систем связи и, прежде всего, использование средств «телематики» – совокупности средств производства, передачи и использования информации. В экономике «телематика» явилась основой формирования её нового информационного (четвертичного) сектора [6].

Процессы информатизации и терциаризации экономики являются основополагающими факторами в формировании аттракторов развития отечественной отраслевой ТЭ. Сегодня здесь формируются новые социальные отношения между производителем и потребителем услуг, когда потребитель услуг диктует свои требования производителю. В условиях ИКТ он превращается в активного участника производственного процесса, когда практически невозможно различить продукт и услугу [6].

Именно эти процессы диктуют необходимость проведения соответствующих исследований, направленных на познание современной парадигмы ТЭ, где юридическим признанием новой парадигмы ТЭ должно стать утверждение соответствующего стандарта высшего образования для инженеров ТЭ, подготовка которых сохранена, например, в Российской Федерации, где она осуществляется согласно стандарту высшего образования по направлению 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» для уровня специалитета.

Анализ исследований и публикаций

Специалистами АТ Донбасса в содружестве с учёными ряда стран на протяжении многих лет проводится совместная научная работа по исследованию организации ТЭ в жизненном цикле (ЖЦ) подвижного состава (ПС) АТ на этапе его использования [7, 8, 9, 10, 11, 12, др.], который предполагает обязательную организацию системы образования соответствующих специалистов.

Познание современной организации ТЭ базируется на развитии нового научного направления в подготовке специалистов ТЭ – «Ситемотехника АТ» [13, 14, 15, 16], которое является ведущим звеном в исследованиях, проводимых на кафедре «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей» Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ).

Современным этапом развития системотехники в отрасли является проектирование человеко-машинных, т.е. автоматизированных, систем управления техническим состоянием ПС на основе внедрения современных ИКТ в систему технического обслуживания и ремонта, предложенную учёными ХНАДУ – систему ОР-Д-УН (Обязательные Работы – Диагностика – Устранение Неисправностей), которая в Украине явилась основой её первого отраслевого «Положения о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» [17] и основой нового проекта этого Положения [18].

Сегодня по результатам этих и др. исследований предлагается внести предложения в проект образовательного стандарта высшего образования.

Цель статьи

Целью статьи является формулировка современной парадигмы ТЭ и формирование предложений к подготовке специалистов для этапа использования ПС.

Материалы и результаты исследований

Базой предложений явилась научно-исследовательская работа (НИР) на тему «Научно-практические основы организации виртуальных предприятий по управлению техническим состоянием подвижного состава в структуре интеллектуальных транспортных систем».

Тема НИР посвящена организационно-техническому аспекту проблемы повышения качества и надежности разработки и эксплуатации информационных систем (ИС) на АТ [19], где аспект качества и надежности ИС в целом обусловлен [20]:

– зависимостью решения проблемы от уровня организации общественного производства, но прежде всего, от уровня организации конкретных систем и структурных подразделений, осуществляющих непосредственное внедрение ИС;

– невозможностью экспериментальной проверки проектных решений ИС до момента внедрения уже написанных, отлаженных компьютерных программ и полной отработки их операций, выполняемых персоналом на практике.

Актуальность НИР определена:

– становлением в современном мире электронно-цифрового общества, что сформулировано в Окинавской Хартии глобального информационного общества, принятой лидерами «восьмерки» 22 июля 2000 года, где указано, что ИКТ являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на формирование общества XXI века;

– становлением на АТ транспортной телематики, т.е. интеллектуальных транспортных систем (*Intelligent Transport Systems – ITS*), что сегодня предусмотрено в стратегических, политических и программно-целевых документах всех развитых стран мира [21, 22, 23].

Целью НИР является – повышение качества и надежности *ITS* на основе:

– интеграции системы ТЭ как основополагающей системы обеспечения технической безопасности ПС, т.е. ПС как важнейшего домена *ITS*;

– формирования в ТЭ новой логики организационных отношений и, соответственно, культуры эксплуатации или труда (4-й составляющей условий эксплуатации), определяемой абсолютным приоритетом в *ITS* принципа «повышения безопасности и эффективности транспортных процессов», что невозможно без обеспечения технической безопасности ПС.

Объектом исследования в работе является информатизация ТЭ, которая представляет собой комплекс мер, обеспечивающих оперативный доступ к информационным ресурсам (ГОСТ 7.0-99), т.е. совокупность взаимосвязанных организационных, правовых, политических, социально-экономических, научно-технических, производственных процессов, которые направлены на создание условий для удовлетворения информационных потребностей на основе строительства, развития и использования ИС, сетей, ресурсов и ИКТ, что в целом базируется на широких возможностях современной вычислительной и коммуникационной техники.

Предметом исследования выступает организация ТЭ, которая:

– обозначает либо процесс упорядочения элементов в целенаправленное единство, либо уже упорядоченное состояние элементов (структуру), что в целом характеризует каждую систему как производную от продукта организаторской деятельности;

– является, во-первых, важнейшей характеристикой каждой системы, т.к. указывает на её энтропию, и, во-вторых, является 3-м обязательным условием в системотехническом обосновании систем.

Методологическая основа НИР – системный подход. В работе использованы методы сравнения, анализа и синтеза уже имеющихся на АТ статистических и эмпирических данных, а также данных теоретико-экспериментальных исследований НИР, что в целом направлено на познание и развитие науки и практики организации ТЭ. В качестве научной базы организации использованы:

– генезис организации, т.е. единство познания этапов жизненного цикла ПС, что в работе осуществлено на стыке дисциплин: системотехники; теории организации; теории автоматизированного управления; теории надёжности; кибернетики; теории ТЭ;

– парадигма организации в целом, которая позволила на АТ выделить время как единое общее, присущее всему и, прежде всего, организации *ITS*, а также установить различия в организации современных областей знаний и на этой основе дифференцировать методики их прикладного использования в ТЭ.

Цель НИР – повышение эффективности организации ТЭ на основе информатизации.

Для достижения цели в работе решены следующие задачи:

1. Предложена методика исследования организации ТЭ.

2. Определено организационное поведение (ОП), стратегия, тактика ТЭ и предложены её системотехнические основы организационного проектирования в условиях, определяемых современной информатизацией АТ.

3. Сформулированы научно-технические мероприятия интеграции ТЭ в *ITS* и концептуальная модель организации ТЭ на основе использования современных ИКТ.

4. Разработана натурная модель организационных структур и процессов ТЭ – виртуальный логистический центр (*Virtual Logistics Center – VLC*) для управления техническим состоянием ПС в условиях современной информатизации.

5. Составлено техническое задание на организационное проектирование *VLC* в условиях культуры эксплуатации АТ, определяемой современными ИКТ.

Научную новизну НИР определяют:

1 – процесс познания организации ТЭ как:

– социотехнической системы на основе методологии МЭТУК (Методика → Экономика + Техника + Управление → Конкурентоспособность), а также на основе системотехнического и тезаурусного подходов;

– социальной культуры, определяемой возникновением рынка технического сервиса машин, а также *ITS* и др. современных ИКТ (концепции непрерывной информационной поддержки поставок и жизненного цикла (*Continuous Acquisition and Lifecycle Support – CALS*), чей тезаурус позволил сформулировать в ТЭ новую политику менеджмента – Y-парадигму;

2 – организационное проектирование ТЭ в виде последовательности организации информации, направленной на создание 3-х мерной информационно-временной системы, отражающей в ТЭ её предпринимательские виды стратегии и тактики, а также мониторинг-процессов на микро-, мезо-, макро- и мега-уровнях, определяемых временем их продолжительности, что обусловлено:

– временной моделью организационной эффективности;

– ОП систем ТЭ и КЭ в обеспечении эффективности ЖЦ современных ПС;

3 – основы новой «логистико-цифровой» парадигмы организации ТЭ, которая отражает её интеграцию в *ITS* и использует принцип интегрированной логистической поддержки (*Integrated Logistic Support – ILS*), где оценка каждой единицы ПС ведётся по параметру стоимости ЖЦ (*Life Cycle Cost – LCC*), что в целом рекомендовано стандартами *MIL-STD*-1388 (США) и *DEF STAN* 00-60 (Великобритания, Евросоюз);

4 – комплекс практических положений по организации *VLC*, что основано на интеллектуальной модели организации ТЭ.

Практическая ценность НИР состоит в разработке технического задания на создание *VLC* по оказанию предпринимателям АТ информационных и организационных услуг для обеспечения работоспособного технического состояния ПС в условиях *ITS*.

Итогом НИР в целом является «очерчивание» на АТ новой «логистико-цифровой», т.е. третьей парадигмы транспорта, где термины приобретают следующее значение:

– «цифра» отражает современное состояние и развитие как общества в целом, так и отрасли АТ, а также автостроения, что базируется на многогранном и безграничном использовании ИКТ и ИС;

– «логистика» на АТ отражает название логистической функции, т.е. S – образную кривую бесконечных по своей численности процессов совершенствования (оптимизации) современной человеческой деятельности и создаваемых человеком систем.

Человек в современной «логистико-цифровой» парадигме транспорта рассматривается как предприниматель, что является аксиомой, обусловленной:

– предпринимательским этапом в развитии мирового капитализма (1980 г. – наши дн.), т.е. фактически предпринимательской идеологией общества;

– требованиями ЮНЕСКО, которые изложены этой организацией в её докладе международной комиссии по образованию, где выпускник высшей школы рассматривается как предприниматель, т.е. новый экономический человек общества, компетентность которого является залогом современного развития [24].

Дальнейшим развитием НИР является сфера образования, которая призвана «узаконить» на АТ становление «логистико-цифровой» парадигмы транспорта. Необходимо структурировать систему знаний и умений предпринимателя в отрасли, компетентный (*competence*) труд которого обязан базироваться на компетенции (*competency*) – совокупности способностей, определяющих современное поведение предпринимателя, где главной является способность целостного системного и, соответственно, системотехнического восприятия и замещения существующего дробления производственных функций. Это обусловлено «интеллектуализацией машин и «дематериализацией труда» – общими векторами экономического развития мира в XXI веке.

На АТ предприниматель (*Пр*) определяет организационное поведение (ОП) отрасли в современной социальной среде (*Сс)*, т.е. её культуру труда (*Кт*–условия эксплуатации ПС), которая является итогом системотехнического формирования компетентностей человека (*Ч*) в среде (*С)*, поведение (*П*) которого описывает в теории ОП традиционно функция К. Левина, которую для АТ целесообразно представить в виде зависимости:

$$П = f\left(Ч, C\right) \rightarrow ОП \rightarrow Кт = f\left(Пр, Сс\right) \rightarrow competency \rightarrow \text{системотехника}$$

Теория ОП как наука – это составляющая теории организации, изучение которой следует сегодня признать основополагающим требованием к высшему образованию в организациях высшего образования по программам специалитета направления подготовки (специальности) 23.05.01.

Изучение теории организации и использование её парадигмы как системообразующего фактора в построении, развитии, применении единого и стройного научного мировоззрения, системы теоретических знаний и практических навыков позволит специалисту-транспортнику предотвратить и устранить ошибки в областях профессиональной деятельности и аварии в ЖЦ объектов деятельности.

Область профессиональной деятельности выпускников программ специалитета специальности 23.05.01 – это предпринимательская деятельность в ЖЦ наземных транспортно-технологических средств, а также в высшем и среднем профессиональном образовании, где предпринимательство постоянно наращивает свои масштабы как в частном, так и в государственном секторе, что в целом (предпринимательство как область деятельности всех современных специалистов) является фактически аксиомой требований ЮНЕСКО и времени.

Объект деятельности – это наземные транспортно-технологические средства, а также это обязательно организации, предприятия, объединения, занимающиеся разработкой, производством и эксплуатацией наземных транспортно-технологических средств, т.к. именно виды деятельности (проектно-конструкторская; производственно-технологическая; организационно-управленческая; научно-исследовательская), т.е. этапы ЖЦ транспортно-технологических средств с учётом их вида (специализации) определяют основу разработки и реализации программ подготовки специалистов, которые не могут реализовать свои компетенции вне стен (в том числе виртуальных) конкретных предприятий.

Поэтому все виды профессиональной деятельности специалиста специальности 23.05.01 следует обязательно рассматривать как виды производственного предпринимательства, когда познание теории организации должно лежать у истоков программы подготовки специалиста-предпринимателя, что ему обеспечит:

– готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (общекультурная компетенция или ОК №7);

– способность решать задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (общепрофессиональные компетенции или ОПК №1).

Предпринимательство – это, прежде всего, целеустремлённая деятельность по созданию «идеальных», наиболее совершенных (а не просто какие получаются) наземных транспортно-технологических средств, а также производственно-коммерческих систем и производственных отношений на каждом из этапов ЖЦ этих объектов профессиональной деятельности. Однако это миссия логистики и, соответственно, логистического мышления, что характеризует логистику как общую методологию предпринимательства, которая и формирует «логистико-

цифровую» парадигму транспорта и становится всё более выраженной с внедрением в отрасль «умных», т.е. «беспилотных» наземных транспортно-технологических средств.

В соответствии с чем «логистико-цифровая» парадигма должна быть отражена в соответствующих документах, определяющих подготовку специалистов-транспортников, где любой образовательный стандарт высшего профессионального образования – это:

– квинтэссенция парадигмы;

– официальное оформление сложившейся системы знаний в науке и практике того или иного направлении деятельности человека.

Поэтому государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 23.05.01 обязан предоставлять предпринимателям на всех этапах ЖЦ наземных транспортно-технологических средств любой специализации целостное системотехническое видение объектов профессиональной деятельности, а программы подготовки специалистов, определяемые этапом ЖЦ объектов, нацеливать специалистов (прежде всего инженеров-конструкторов), на применение концепции системотехнического подхода к проектированию объектов профессиональной деятельности. При этом практическая сторона «реализации системотехники» должна базироваться на использовании ИС и ИКТ, что в целом является залогом получения обществом наибольшего социально-экономического эффекта.

Задачи и, соответственно, программы подготовки специалистов (инженеров-технологов) в сфере производственно-технологической деятельность обязаны базироваться на концепции комплексной автоматизации процессов, что в целом относится ко всем этапам (соответственно, программам) ЖЦ объектов профессиональной деятельности разной специализации. При этом работа должна ориентироваться на внедрении передовых научно-технических достижений в области машиностроения, эксплуатационной надёжности, электроники, телематики, информатики, математики, экономики, организации производства с целью повышения качества как самих объектов профессиональной деятельности, так и выполняемых ими работ (услуг).

Задачи научно-исследовательской деятельности, которые наиболее характерны для специалистов в области высшего и среднего профессиональном образовании, обязаны отвечать становлению в современном мире электронно-цифрового общества. Однако для каждого этапа (т.е. программ подготовки специалистов) ЖЦ объектов это задачи, ориентирующие специалистов на процессы информатизации, глобализации и виртуализации, происходящие во всех сферах экономики, на создание рынка информации и управления в дополнение к традиционным рынкам товаров, труда и капитала, где главным является:

– проведение теоретических и экспериментальных исследований проблем проектирования, производства и эксплуатации объектов профессиональной деятельности в виде сложных машин и информационных систем;

– исследование, выбор и разработка методик анализа, синтеза, прогнозирования и оптимизации качества и надёжности процессов и структур в областях и объектах профессиональной деятельности;

– использование информационных экспертных систем (*expert system – ES*) искусственного интеллекта (*artifical intelligence – AI*) для анализа состояния и перспектив развития областей и объектов профессиональной деятельности;

– разработка математических моделей, методов, компьютерных технологий и систем поддержки принятия решений в научных исследованиях, проектно-конструкторской деятельности, управлении технологическими, экономическими, социальными системами и в гуманитарных областях профессиональной деятельности инженера специальности 23.05.01.

Современные задачи инженера в условиях предпринимательской идеологии общества и в условиях развития «логистико-цифровой» парадигмы АТ не менее обширны. Для инженера каждого этапа ЖЦ объектов профессиональной деятельности (конструкторов, технологов, инже-

неров эксплуатации) они основаны на реализации в их деятельности концепции корпоративных информационных систем (КИС), т.е. комплекса программно-аппаратных средств, работающих в едином информационном пространстве и обеспечивающих бизнес-процессы организации стратегических информационных систем (*strategic information systems – SIS*), где главным является:

– определение целей и задач предпринимательской деятельности в ЖЦ наземных транспортно-технологических средств;

– регулирование предпринимательской деятельности предприятий, организаций и их объединений, занимающихся разработкой, производством и эксплуатацией наземных транспортно-технологических средств;

– использование системы бизнес-планирования (*Enterprise requirements planning – ERP*) на основе методологии (стандарта) *MRP – II* в сочетании с модулем финансового планирования (*Finance requirements planning – FRP*), т.е. набора принципов, моделей и процедур управления и контроля, служащих повышению показателей экономической деятельности предприятий;

– использование корпоративной информационной системы (*Customer relationship management – CRM*) для эффективного маркетинга, продаж и обслуживания клиентов предприятий ЖЦ объектов профессиональной деятельности;

– использование информационных систем класса *Business intelligence (BI)*, предназначенных для построения отчетов и анализа информации о деятельности предприятий и их окружения в ходе работы над задачами, связанными с принятием решений на основе фактических данных.

Выводы

ИКТ и ИС являются основой современной информатизации транспорта, а его достаточно бурное и трудно прогнозируемое, но вместе с тем эффективное развитие указывает на интенсивный процесс смены парадигмы отрасли.

На АТ уже сформировалась новая «логистико-цифровая» парадигма, которая настоятельно требует своего «официального оформления», где достаточно действенным официальным документом может стать разработка соответствующего государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» (уровень специалитета).

Принятие образовательного документа может явиться для парадигмы АТ, во-первых, сосредоточением её познавательного потенциала, который регулирует смену любой парадигмы парадигмы, и, во-вторых – дисциплинарной матрицей, характеризующей совокупность убеждений, ценностей, технических средств и т.д., которые объединяют специалистов в данное сообщество.

В истории транспорта России первым официальным документом смены его парадигмы явилось распоряжение министра путей сообщения №7453 от 11.08.1896 года, в котором были фактически определены лишь условия безопасной эксплуатации самодвижущихся экипажей при их встрече с экипажами, запряжёнными лошадьми. В условиях становления Донбасса и, соответственно, становления систем образования и транспорта государственный образовательный стандарт может явиться эффективным средством системотехнического подхода к построению этих двух (образование и транспорт) важнейших для каждой страны систем.

Список литературы

1. Смена парадигм. Научный метод и научная истина. Основные принципы современного естествознания. Структурные уровни организации материи. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.grandars.ru › Естествознание › Концепция естествознания Сохраненная копия (дата обращения: 06.02.2012)

2. Зимняя И.А. Ключевые компетенции – новая парадигма результата образования // Высшее образование. – 2002. – №5. – С. 34 – 42.

3. Падалка Н.В. Глобализация как феномен современной культуры: Философско антропологический аспект: Дис. канд. философских наук ВАК: 090013.– С-Петербург, 2004. – 162 с.

4. Самоорганизация и самодезорганизация. Электронный учебник. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?tutindex=12&index=28&lauer=1. (дата обращения: 08.11.2013)

5. Российская автотранспортная энциклопедия. Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт автотранспортных средств. – Т. 3. – М: РООИП, 2000. – 456 с.

6. Постиндустриальная хозяйственная система [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.europestory.ru/floras-79-1.html. (дата обращения: 08.11.2013)

7. Комов А.Б., Комов П.Б., Грицук И.В. Повышение надёжности трансмиссии транспортного средства: монография. – Донецк: ДонИЖТ, 2010. – 144 с.

8. Математическое моделирование на транспорте: процессы и структуры: монография / П.Б. Комов, А.Б. Комов, И.В. Грицук, Ю.В. Прилепский, В.М. Гущин, Р.И. Рыбалко, В.В. Коломиец. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отд.), 2012. – 328 с.

9. Волков В.П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем: монография / Волков В.П., Матейчик В.П., Никонов О.Я., Комов П.Б., Грицук И.В., Волков Ю.В., Комов Е.А. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение), 2013. – 400 с.

10. Інформаційні технології в технічній експлуатації автомобілів: навчальний посібник / [В.П. Волков, В.П. Матейчик, М. Смешек, П.Б. Комов, І.В. Грицук, Т.В. Волкова, Є.О. Комов, під заг. ред. В.П. Волкова]; Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 2014. – 324 с.

11. Інтелектуальні системи моніторингу транспорту: монография / Волков В.П., Матейчик В.П., Комов П.Б., Грицук І.В., Смешек М., Волкова Т.В., Цюман М.П. / Під редакцією Волкова В.П. – Харків: Вид-во НТМТ, 2015. – 246 с.

12. Системи прогріву двигунів внутрішнього згоряння: основи функціонування: монографія / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, В.Д. Александров, В.П. Поддуб-ний, Ю.В. Прилепський, П.Б. Комов, Д.С. Адров, В.С. Вербовський, З.І. Краснокутська, Т.В. Волкова – Донецьк: ЛАНДОН-ХХІ, 2015. – 314 с.

13. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта). / В двух частях. Ч. 1. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. – 255 с.

14. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта). / В двух частях. Ч. 2. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. – 219 с.

15. Системотехника проектирования транспортных машин: Учебное пособие / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко – Харьков: ХНАДУ, 2002. – 166 с.

16. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчётные методы исследований): монография / Н.Я. Говорущенко. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – 292 с.

17. Положення про профілактичне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту. – К.: Міністерство транспорту України, 1994. – 36 с.

18. Положение о профилактическом обслуживании и ремонте транспортных машин (Методические рекомендации). – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. – 39 с.

19. Комов А.Б., Комов А.П., Комов Е.А., Комов П.Б. Основы организации информационной поддержки жизненного цикла изделий в системе технической эксплуатации автомобилей. // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы международной научно-практической конференции, под общей редакцией д.т.н., проф. А.Н. Новикова (19 – 20 мая 2015 года). – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2015. – С. 127-134.

20. Леонтьев Е. А. Надёжность экономических информационных систем: Учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – 128 с.

21. Власов В.М. Информационные технологии на автомобильном транспорте: учебник для студ. Учреждений высш. образования / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил; под ред. В.М. Власова – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

22. Пржибыл П. Телематика на транспорте / П. Пржибыл, М. Свитек; под ред. В.В. Сильянова. – М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2003. – 539 с.

23. Краткое изложение содержания трёхтомника «Современная концепция безопасности дорожного движения», Амбарцумян В.В. / Под общей редакцией д.т.н. профессора В.В. Сильянова. – Лос-Анжелес: Инфо-Пресс, 2008. – 112 с.

24. Делор Жак. Образование – сокрытое сокровище. – М.: Московская школа политических исследований, 2002. – 472 с.

Комов О.Б., Комов П.Б. Парадигма технічної експлуатації автомобілів

Анотація*. Представлено результати дослідження організації технічної експлуатації. Окреслено сучасну парадигму і вимоги до підготовки фахівців.*

Ключеві слова: *експлуатація, організація, парадигма, освіта*

Komov A.B., Komov P.B. The paradigm of technical exploitation of cars

Abstract. *Presents the results of investigation of technical exploitation. Outlines a modern paradigm and the requirements for the training of specialists.*

Keywords: *exploitation, organization, paradigm, education*

Стаття надійшла до редакції 14.11.2015 р.

УДК 629.113

ЄФИМЕНКО А.М., аспірант
ВЕРБИЦЬКИЙ В.Г., д.фіз.-мат.н.
Державний економіко-технологічний університет транспорту

ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОЛІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Представлено рівняння руху плоскої моделі колісного транспортного засобу, де враховано пружні реакції направляючого колісного модуля як лінійні функції поперечних відхилень центрів мас візків від програмної траєкторії (осьової лінії шляхопроводу) та пружні моменти, що пов'язані з відхиленнями курсових кутів візків – відповідних курсових кутів програмної траєкторії. Модель взаємодії несучого пружного колеса з опорною поверхнею шляхопроводу описана за допомогою модифікованої нелінійної моделі відведення Е. Фіала.
Ключові слова: *модель колісного транспортного засобу, направляючий колісний модуль, сили відведення, моменти відведення.*

Постановка проблеми

У великих містах спостерігаються транспортні проблеми – затори. Міський транспорт рухається повільно. Рішенням транспортної проблеми є метрополітен, але його мережа, як правило, не досягає нових спальних районів. Альтернативою наземному та підземному транспорту може бути впровадження колісних транспортних засобів, що в світі отримали назву монорейкового транспорту (рух транспортного засобу по шляхопроводу, розміщеному на деякій відстані над землею).

Аналіз останніх досліджень

Дана робота присвячена розробці математичної моделі КТЗ, що є аналогом системи «Alweg» [1, 2]. Конструктивна особливість даної системи (рис. 1) – пневматичні шини, що виконують функцію несучих коліс 1 та направляючих 2, що рухаються по шляхопроводу. Модель взаємодії пружного колеса з опорною поверхнею може бути описана на основі моделі Е. Фіала [3, 4].

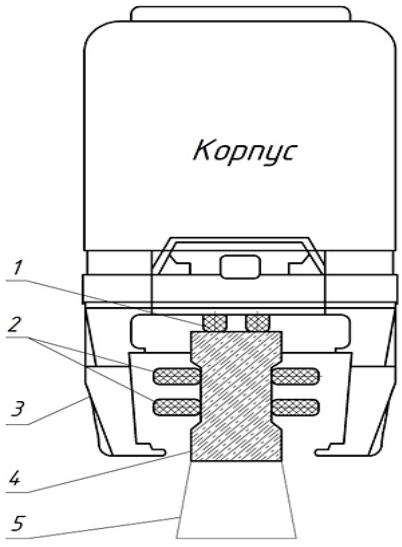


Рис. 1. Компонувальна схема КТЗ:

1 – несучі колеса; 2 – направляючі колеса; 3 – бічні сторони корпусу КТЗ; 4 – шляхопровід; 5 – підтримуюча колона.

Направляючий колісний модуль виконує роль стабілізуючого елемента в поперечному напрямку (забезпечує малі відхилення КТЗ від програмної траєкторії, яка визначається профілем шляхопроводу) та повздовжньому напрямку (запобігає можливому бічному перекиданню КТЗ щодо повздовжньої осі шляхопроводу).

Мета статті

В роботі побудовано математичну модель колісного транспортного засобу, де враховано вплив сил та моментів відведення, пружних сил і моментів (виникаючих при взаємодії направляючих коліс з бічною поверхнею шляхопроводу) та визначено реакції в шарнірних з'єднаннях «корпус КТЗ – візок КТЗ».

Основний розділ

Колісний транспортний засіб складається з трьох складових «ВІЗОК 1 – КОРПУС – ВІЗОК 2», візки з'єднані з корпусом шарнірно в точках А, В – центрах мас візків (рис. 2).

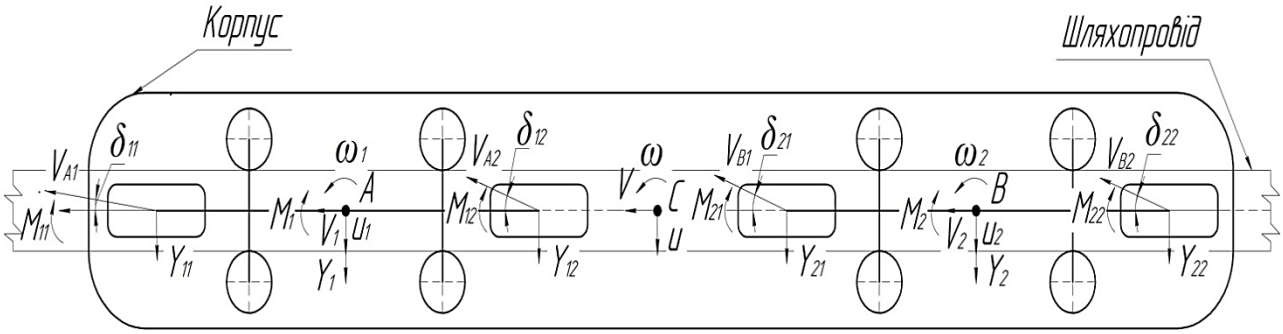


Рис. 2. Розрахункова велосипедна схема КТЗ з двома візками

В роботі прийнято, що положення корпуса КТЗ визначається положенням його центра мас (x_C, y_C) та курсовим кутом ψ, положення візків визначається кутами повороту відносно осі корпуса транспортного засобу ψ_1 та ψ_2.

Динамічні рівняння плоскопаралельного руху корпуса описуються двома половинними ступенями вільності: поперечною складовою швидкості центра мас u та кутовою швидкістю відносно вертикальної осі ω.

Зовнішні сили та моменти, що діють на КТЗ: приведена сила пружності Y_i та момент пружності M_i, що діють на направляючий колісний модуль; сили Y_{ij} та моменти M_{ij} відведення несучих коліс; X_{ij} – поздовжні сили в плямі контакту несучих коліс. В шарнірних з'єднаннях (циліндричних шарнірах) візка з корпусом транспортного засобу виникають внутрішні сили, які формально вилучаються при виводі рівнянь руху всієї системи.

Рівняння плоскопаралельного руху системи в припущенні, що підтримується стала величина повздовжньої складової швидкості центра мас транспортного засобу (параметр v), мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
-m_1\left(V_1-\omega_1 u_1\right)-XA\cdot\cos\psi_1+X_{11}\cdot\cos\theta+X_{12}-YA\cdot\sin\psi_1-Y_{11}\cdot\sin\theta=0;\\
-m_1\left(U_1+\omega_1 v_1\right)+XA\cdot\sin\psi_1-YA\cdot\cos\psi_1+Y_{11}\cdot\cos\theta+Y_{12}+X_{11}\cdot\sin\theta+Y_1=0;\\
-m_2\left(V_2-\omega_2 u_2\right)-XB\cdot\cos\psi_2+X_{21}+X_{22}-YB\cdot\sin\psi_2=0;\\
-m_2\left(U_2+\omega_2 v_2\right)+XB\cdot\sin\psi_2-YB\cdot\cos\psi_2+Y_{21}+Y_{22}+Y_2=0.
\end{aligned} \qquad (1)$$

Із системи рівнянь (1) плоскопаралельного руху направляючих візків визначаються невідомі реакції в шарнірних з'єднаннях з корпусом транспортного засобу *YA, XA, YB, XB.*

$$XA = \frac{1}{sin\psi_1^{\,2} + cos\psi_1^{\,2}}\big(sin\psi_1 \cdot m_1U_1 + sin\psi_1 \cdot m_1\omega_1v_1 - sin\psi_1 \cdot X_{11}sin\theta - $$
$$-sin\psi_1 \cdot Y_1 - sin\psi_1Y_{11}\cos\theta - sin\psi_1Y_{12} - m_1V_1\cos\psi_1 + m_1\omega_1u_1\cos\psi_1 - $$
$$-Y_{11}\sin\theta\cos\psi_1 + X_{11}\cos\theta\cos\psi_1 + X_{12}\cos\psi_1\big);$$

$$XB = -\frac{1}{\cos\psi_2^{\,2} + \sin\psi_2^{\,2}}\big(-sin\psi_2 \cdot m_2U_2 - sin\psi_2 \cdot m_2\omega_2v_2 + sin\psi_2 \cdot Y_2 +$$
$$+sin\psi_2 \cdot Y_{21} + sin\psi_2Y_{22} + m_2V_2\cos\psi_2 - m_2\omega_2u_2\cos\psi_2 - X_{21}\cos\psi_2 - X_{22}\cos\psi_2\big);$$

$$YA = \frac{1}{sin\psi_1^{\,2} + cos\psi_1^{\,2}}\big(-m_1U_1\cos\psi_1 - m_1\omega_1v_1\cos\psi_1 - sin\psi_1 \cdot m_1V_1 +$$
$$+sin\psi_1m_1\omega_1u_1 - sin\psi_1Y_{11}\sin\theta + sin\psi_1X_{11}\cos\theta + sin\psi_1X_{12} +$$
$$+X_{11}\sin\theta\cos\psi_1 + Y_1\cos\psi_1 + Y_{11}\cos\theta\cos\psi_1 + Y_{12}\cos\psi_1\big);$$

$$YB = -\frac{1}{\cos\psi_2^{\,2} + \sin\psi_2^{\,2}}\big(m_2u_2\cos\psi_2 + m_2\omega_2v_2\cos\psi_2 + sin\psi_2m_2v_2 -$$
$$-sin\psi_2m_2\omega_2u_2 - sin\psi_2X_{21} - sin\psi_2X_{22} - Y_2\cos\psi_2 - Y_{21}\cos\psi_2 - Y_{22}\cos\psi_2\big).$$

Нижче наведено основні кінематичні співвідношення, використані в дослідженні:
– кутова швидкість направляючого колісного модуля

$$\omega_1 = \omega + \dot{\psi}_1; \quad \omega_2 = \omega + \dot{\psi}_2; \tag{2}$$

– кутове прискорення направляючого колісного модуля

$$\Omega_1 = \Omega + \ddot{\psi}_1; \quad \Omega_2 = \Omega + \ddot{\psi}_2. \tag{3}$$

Визначення поперечної і повздовжньої проекцій швидкості центру мас направляючого колісного модуля «А» проводилося по наступним виразам:

$$\begin{aligned} u_1 &= -v \cdot \sin\psi_1 + \big(u + LA \cdot \omega\big)\cos\psi_1; \\ v_1 &= v \cdot \cos\psi_1 + \big(u + LA \cdot \omega\big)\sin\psi_1. \end{aligned} \tag{4}$$

Визначення поперечної і повздовжньої проекцій швидкості центру мас направляючого колісного модуля «В» виконано відповідно (5):

$$\begin{aligned} u_2 &= -v \cdot \sin\psi_2 + \big(u - LB \cdot \omega\big)\cos\psi_2; \\ v_2 &= v \cdot \cos\psi_2 + \big(u - LB \cdot \omega\big)\sin\psi_2. \end{aligned} \tag{5}$$

Визначення поперечної й повздовжньої проекцій прискорення центра мас колісних модулів:

$$U_1 = -V\cdot\sin\psi_1 - v\cdot\cos\psi_1\cdot\psi_1 + \left(U + LA\cdot\Omega\right)\cdot\cos\psi_1 - \left(u + LA\cdot\omega\right)\sin\psi_1\cdot\psi_1;$$
$$V_1 = V\cdot\cos\psi_1 - v\sin\psi_1\cdot\psi_1 + \left(U + LA\cdot\Omega\right)\sin\psi_1 + \left(u + LA\omega\right)\cos\psi_1\cdot\psi_1; \quad (6)$$

$$U_2 = -V\cdot\sin\psi_2 - v\cdot\cos\psi_2\cdot\psi_2 + \left(U - LB\cdot\Omega\right)\cdot\cos\psi_2 - \left(u - LB\cdot\omega\right)\sin\psi_2\cdot\psi_2;$$
$$V_2 = V\cdot\cos\psi_2 - v\cdot\sin\psi_2\cdot\psi_2 + \left(U - LB\cdot\Omega\right)\cdot\sin\psi_2 + \left(u - LB\cdot\omega\right)\cos\psi_2\cdot\psi_2. \quad (7)$$

Після підстановки знайдених реакцій (шарнірних з'єднань) у рівняння плоскопаралельного руху КТЗ маємо замкнену систему рівнянь руху (8 - 9):

$$m\left(V - \omega u\right) = XA + XB = -\sin\psi_1 X_{11}\sin\theta - \sin\psi_1 Y_{11}\cdot\cos\theta - \sin\psi_1 Y_1 - \sin\psi_1 Y_{12} -$$
$$-Y_{11}\sin\theta\cos\psi_1 + X_{11}\cos\theta\cos\psi_1 + X_{12}\cos\psi_1 + X_{21}\cos\psi_2 + X_{22}\cos\psi_2 -$$
$$-\sin\psi_2 Y_2 - \sin\psi_2 Y_{21} - \sin\psi_2 Y_{22} + m_1\omega u + m_1 LA\omega^2 - m_1 V - m_2 V + m_2\omega u - m_2 LB\omega^2;$$

$$m\left(U + \omega v\right) = YA + YB = Y_1\cos\psi_1 + Y_{12}\cos\psi_1 + Y_2\cos\psi_2 + Y_{21}\cos\psi_2 + Y_{22}\cos\psi_2 +$$
$$+\sin\psi_2 X_{21} + \sin\psi_2 X_{22} + X_{11}\sin\theta\cos\psi_1 + Y_{11}\cos\theta\cos\psi_1 - \sin\psi_1 Y_{11}\sin\theta + \quad (8)$$
$$+\sin\psi_1 X_{11}\cos\theta + \sin\psi_1 X_{12} + m_2 LB\Omega - m_2\omega v - m_1 LA\Omega - m_1\omega v - m_1 U - m_2 U;$$

$$J\Omega = LA\cdot YA - LB\cdot YB = -LAm_1\omega v + LAX_{11}\sin\theta\cos\psi_1 - m_1 LA^2\Omega + LBm_2\omega v +$$
$$LAY_1\cos\psi_1 + LAY_{12}\cos\psi_1 + LA\sin\psi_1 X_{12} - LBY_2\cos\psi_2 - LBY_{21}\cos\psi_2 + LBm_2 U -$$
$$-LBY_{22}\cos\psi_2 - LB\sin\psi_2 X_{21} - LB\sin\psi_2 X_{22} + LAY_{11}\cos\theta\cos\psi_1 - LA\sin\psi_1\times$$
$$\times Y_{11}\sin\theta + LA\sin\psi_1 X_{11}\cos\theta - LAm_1 U - m_2 LB^2\Omega.$$

Рівняння обертового руху направляючих колісних модулів (візків):

$$J_1\Omega_1 = l\left(Y_{11}\cos\theta + X_{11}\sin\theta - Y_{12}\right) - M_1;$$
$$J_2\Omega_2 = l\left(Y_{21} - Y_{22}\right) - M_2; \quad (9)$$

Сили в точці з'єднання «*A*» (проекції на повздовжній та поперечній осі КТЗ):

$$XA = -\sin\psi_1 X_{11}\sin\theta - \sin\psi_1 Y_{11}\cos\theta - \sin\psi_1 Y_1 - \sin\psi_1 Y_{12} - Y_{11}\sin\theta\cos\psi_1 +$$
$$+ X_{11}\cos\theta\cos\psi_1 + X_{12}\cos\psi_1 - m_1 V + m_1\omega u + m_1 LA\omega^2; \quad (10)$$

$$YA = Y_1\cos\psi_1 + Y_{12}\cos\psi_1 + X_{11}\sin\theta\cos\psi_1 + Y_{11}\cos\theta\cos\psi_1 - \sin\psi_1 Y_{11}\sin\theta +$$
$$+\sin\psi_1 X_{11}\cos\theta + \sin\psi_1 X_{12} - m_1 LA\Omega - m_1\omega v - m_1 U.$$

Рівняння динаміки плоскопаралельного руху колісного транспортного засобу (11) у припущенні, що в системі підтримується постійна величина повздовжньої складової швидкості центру мас корпусу транспортного засобу (параметр *v*) і відсутні поздовжні сили X_{ij} (*LA*, *LB* – відстань від центру мас корпуса до шарнірів «*A*» і «*B*»), мають вигляд:

$$\begin{aligned}
&m\left(\dot{u}+\omega v\right)=Y_1\cos\psi_1+Y_{12}\cos\psi_1+Y_2\cos\psi_2+Y_{21}\cos\psi_2+\\
&+Y_{22}\cos\psi_2+\sin\psi_2X_{21}+\sin\psi_2X_{22}+Y_{11}\cos\psi_1+\sin\psi_1X_{11}+\\
&+\sin\psi_1X_{12}+m_2LB\dot{\omega}-m_2\omega v-m_1LA\dot{\omega}-m_1\omega v-m_1\dot{u}-m_2\dot{u};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&J\dot{\omega}=-LAm_1\omega v+LAY_{11}\cos\psi_1+LBm_2\omega v+LA\sin\psi_1X_{11}-\\
&-LAm_1\dot{u}-m_1LA^2\dot{\omega}-m_2LB^2\dot{\omega}+LAY_1\cos\psi_1+LAY_{12}\cos\psi_1+\\
&+LA\sin\psi_1X_{12}-LBY_2\cos\psi_2-LBY_{21}\cos\psi_2-LBY_{22}\cos\psi_2+\\
&+LBm_2\dot{u}-LB\sin\psi_2X_{21}-LB\sin\psi_2X_{22};
\end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
J_1\dot{\omega}_1&=l\cdot Y_{11}-l\cdot Y_{12}-M_1,\ (\omega_1=\omega+\dot{\psi}_1);\\
J_2\dot{\omega}_2&=l\cdot Y_{21}-l\cdot Y_{22}-M_2,\ (\omega_2=\omega+\dot{\psi}_2).
\end{aligned}$$

Сили та моменти відведення визначались на основі емпіричних залежностей як функції кутів відведення. Враховано нелінійні залежності, які відображають реальні пружні характеристики пневматичних коліс та дають можливість дослідити механізми втрати стійкості системи при достатньо великих збуреннях фазових змінних. В дослідженні використовуються залежності сили відведення (12) та моменту відведення (13):

$$Y_{ij}=\frac{k_i\times\delta_{ij}}{\sqrt{1+\left(k_i\delta_{ij}/\left(\kappa_iN_i\right)\right)^2}}; \tag{12}$$

$$M_{ij}=\frac{A_i\cdot\delta_{ij}}{B_i\delta_{ij}^{\ 4}+C_i\delta_{ij}^{\ 2}+1}; \tag{13}$$

де k_i – коефіцієнт опору відведенню;

δ_{ij} – кут відведення j-того несучого колеса i-го візка;

κ_i – коефіцієнт тертя колеса в поперечному напрямі;

N_i – навантаження на приведене колесо i-го візка;

A_i, B_i, C_i – коефіцієнти, що визначаються емпірично.

Кути відведення на передніх та задніх несучих колесах i-го візка визначались через поперечні, поздовжні складові швидкості центрів мас візків та місцеві кутові швидкості відносно відповідних вертикальних осей

$$\delta_{i1}=-arctg\frac{u_i+l\omega_i}{v_i};\ \delta_{i2}=arctg\frac{-u_i+l\omega_i}{v_i}\ , \tag{14}$$

де l – половина бази візка.

Пружні сили Y_i (15) та пружний момент M_i (16) лінійно залежать від радіального зсуву центра мас візка щодо програмної кругової траєкторії, різниці курсових кутів візка та програмної кривої відповідно.

$$Y_1=-Cy\cdot y_A;\quad Y_2=-Cy\cdot y_B; \tag{15}$$

$$x_A=x_C+LA\cdot\cos\psi;\qquad y_A=y_C+LA\cdot\sin\psi;$$

$$x_B = x_C - LB\cdot\cos\psi; \quad y_B = y_C - LB\cdot\sin\psi;$$

$$M_1 = C\psi\left(\psi+\psi_1\right); \quad M_2 = C\psi\left(\psi+\psi_2\right); \tag{16}$$

де x_A, y_A, x_B, y_B – координати центра мас візків КТЗ;

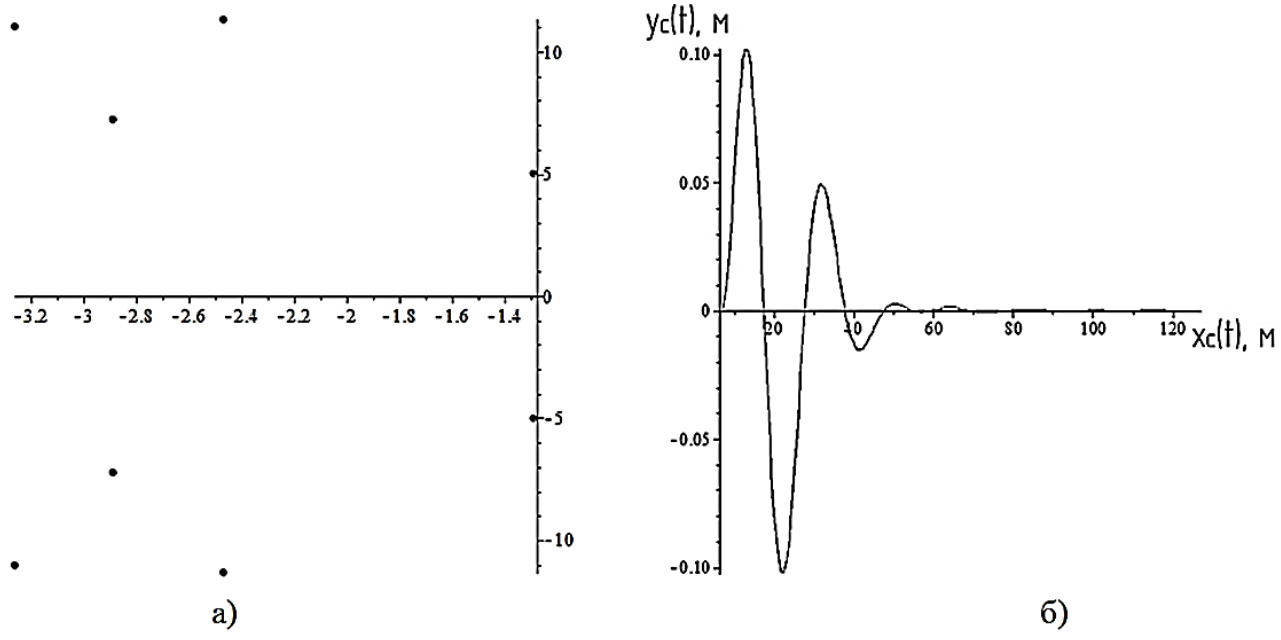
ψ_1, ψ_2 – курсові кути програмної траєкторії в точках, які відповідають точкам А та В відповідно.

Використано наступні числові значення конструктивних параметрів КТЗ при аналізі власних значень системи лінійного наближення: $m_1 = m_2$ =1320 кг; m = 16000 кг; $J_1 = J_2$ = 4224 кг м^2; J =274400 кг·м^2; LA = 7 м; LB = 7 м; $к_1 = к_2$ = 0,8; $k_1 = k_2$ = 360000 Н; Cy =250000 Н/м; g = 9.8 м/с^2; v = 30 м/с; *l* = 1 м; *ll* = 1,5 м; $Z_1 = Z_2$ = 45714,6.

Матриця коефіцієнтів системи лінійного наближення в околі невимушеного прямолінійного руху має наступні власні значення:

$$\begin{aligned} eigv := &-2.466477384 + 11.32251986\cdot i, \quad -1.288968600 + 5.016085418\cdot i, \\ &-3.258826530 + 11.02910632\cdot i, \quad -2.886556479 + 7.232170269\cdot i, \\ &-2.886556479 - 7.232170269\cdot i, \quad -3.258826530 - 11.02910632\cdot i, \\ &-1.288968600 - 5.016085418\cdot i, \quad -2.466477384 - 11.32251986\cdot i \end{aligned}$$

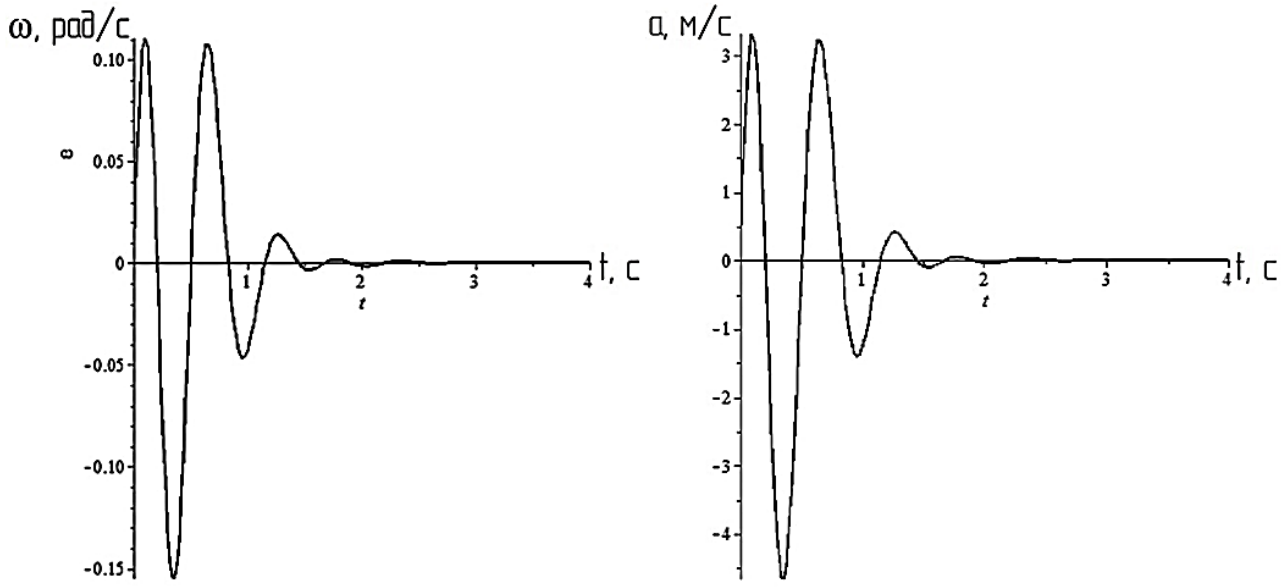
Нижче представлено розташування власних значень системи лінійного наближення в околиці прямолінійного руху (рис. 3, а) у комплексній площині та графік поперечних відхилень центру мас першого візка (рис. 3, б) як функція часу (початкове збурювання відповідає курсовому куту ψ_1 = +0,1 рад та ψ_2= –0,1 рад) зі швидкістю V=30 м/с (108 км/год).



а) б)

Рис. 3. Графік розташування власних значень системи лінійного наближення в околі прямолінійного руху (а) та відхилення центру мас першого візка як функція часу в прямолінійному русі (б)

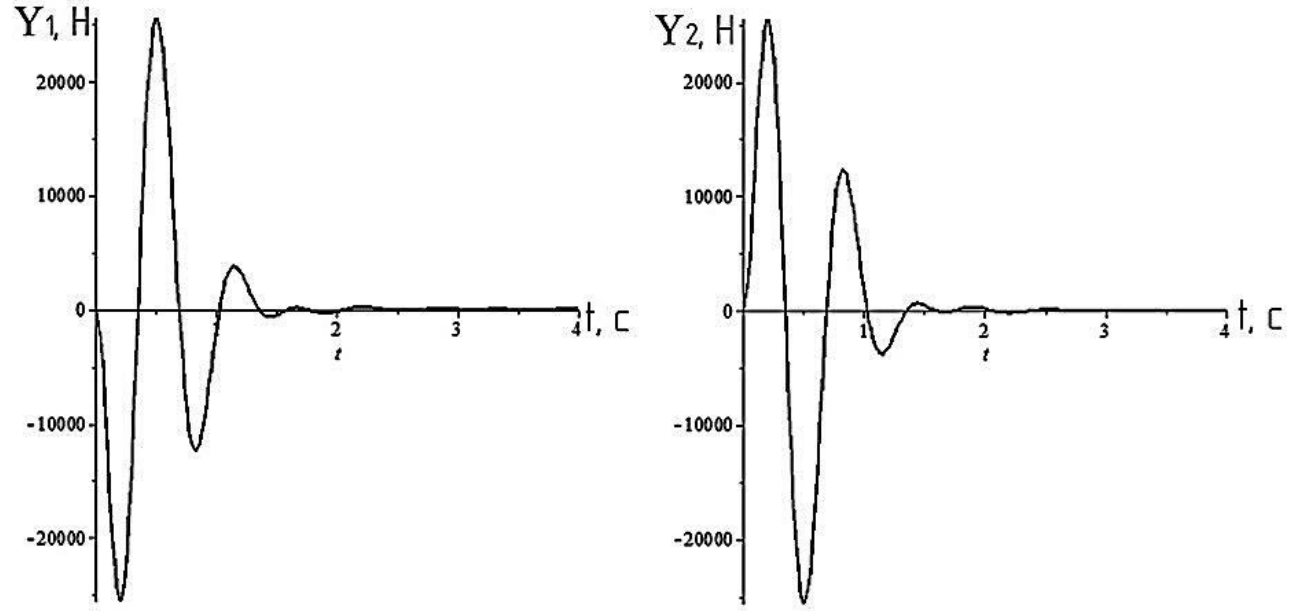
Нижче приведено залежності фазових змінних як функцій часу, котрі було отримано при чисельному моделюванні з метою аналізу кінематичних та силових характеристик (визначення бокових прискорень, сил відведення, пружних сил та моментів):



а) б)

Рис. 4. Кутова швидкість КТЗ (а) та бічне прискорення центру мас (б)

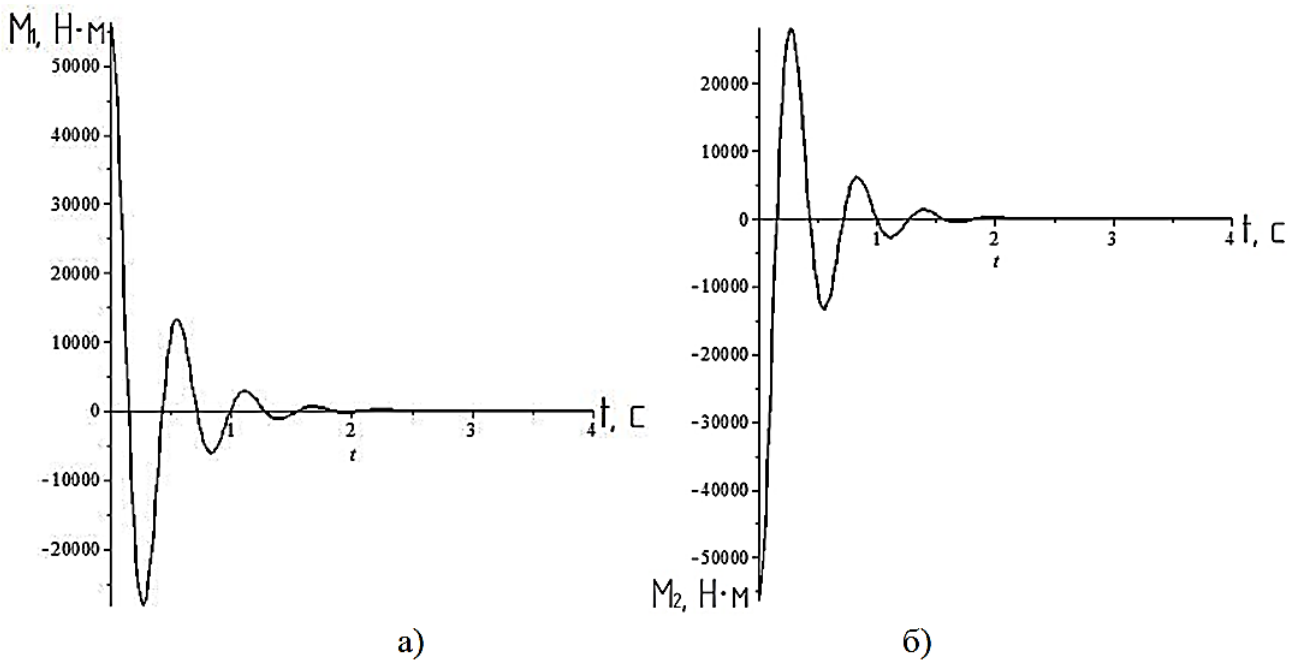
Пружні сили як функції часу зменшуються, максимальне значення не перевищує 25 кН на початку шляху (рис. 5 а, б).



а) б)

Рис. 5. Залежність пружних сил на першому Y1 (а) та другому Y2 (б) візках як функції часу

Залежність пружних моментів візків як функції часу мають протилежні знаки, що відповідає різній орієнтації візків відносно повздовжньої осі корпуса. Максимальне значення пружних моментів першого та другого візка не перевищує 56000 Н·м на початку шляху (рис. 6, а, б), потім відбувається затухання до нульових значень.



а) б)

Рис. 6. Залежність пружних моментів на першому М1 (а) та другому М2 (б) візках як функції часу

Максимальні значення кінематичних та силових характеристик прямолінійного руху КТЗ, отриманих при чисельному моделюванні, зведено в підсумкову таблицю 1.

Таблиця 1

Максимальні значення кінематичних та силових характеристик прямолінійного руху КТЗ при фіксованих збуреннях (ψ1=+0,1 рад, ψ2=−0,1 рад)

V, м/с	maxRe(λi)	υ, Гц	ω, рад/с	a_y, м/с^2	max |δij|, рад	max |$y_{A,B}$|, м	max |Δi|, м	max |Yi|, Н	max |Mi|, Н·м
20	-1,9	0,8..1,6	0,1	2	0,03	0,09	0,13	24000	56300
25	-1,5	0,8..1,8	0,13	3,4	0,033	0,115	0,145	25000	56000
30	-1,3	0,8..1,79	0,15	4,6	0,035	0,118	0,15	26000	56000
35	-1,1	0,81..1,85	0,17	6	0,037	0,12	0,16	30000	56000

Висновки

Побудовано математичну модель колісного транспортного засобу; обрано раціональні значення конструктивних параметрів, які забезпечують достатній запас стійкості прямолінійного руху КТЗ (безпека від скочування зі шляхопроводу); наведено аналіз та оцінку швидкості загасання збурювань фазових змінних системи.

Список літератури

1. www.STC-IN.com & www.skytraincorp.com. Monorail History and Technology of Successful Technology. Available at: http://www.skytraincorp.com/pp/stc_mht.pdf

2. Ryan R. Kennedy. Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities. Available at: http://www.monorails.org/webpix%202/ryanrkennedy.pdf

3. Fiala E. Seitenkrafte am rollenden Luftreifen / E. Fiala . VDI - Zeitschrift. – 1954. – №96. – S. 973-979.

4. Вербицький В.Г. До визначення нової математичної форми моделі Фіала пружного колеса / В.Г. Вербицький, А.М. Єфименко, Р.А. Кулієв, Ю.М. Стрільник // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр.. Вип. 134/2012. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2012. – С. 127 – 130.

Ефименко А.Н., Вербицкий В.Г. К построению математической модели колесного транспортного средства

Аннотация. *Представлены уравнения движения плоской модели колесного транспортного средства, где учтены упругие реакции направляющего колесного модуля как линейные функции поперечных отклонений центров масс тележек от программной траектории (осевой линии путепровода) и упругие моменты, которые связаны с отклонениями курсовых углов тележек – соответствующих курсовых углов программной траектории. Модель взаимодействия упругого колеса с опорной поверхностью путепровода описана с помощью модифицированной нелинейной модели увода Е. Фиала.*

Ключевые слова: *модель колесного транспортного средства, направляющий колесный модуль, силы увода, моменты увода.*

Yefymenko A.N., Verbytskyy V.G. To the construction of mathematical model of the wheeled vehicles.

Abstract. *The equations of motion of the flat model of a wheel of the vehicle, which takes into account the elastic reaction of the guide wheel module as a linear function of the lateral deviations from program trajectory and elastic moments that are associated with deviations angle from programmed trajectory. The model interaction wheel with support surface is described using a modified model of slipping E. Fiala.*

Keywords*: model of a wheeled vehicle, a guide wheeled modul, slip forces, moments slip.*

Стаття надійшла до редакції 03.11.2015 р.

УДК 629.113

СТРЕЛЬНИК Ю.Н., ст. преподаватель
Донецкая академия автомобильного транспорта

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЯ С УПРАВЛЯЕМОЙ ЗАДНЕЙ ОСЬЮ (АБСОЛЮТНО ЖЕСТКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ)

В статье проведен анализ устойчивости прямолинейного движения модели автомобиля с управляемой задней осью.
Ключевые слова: *устойчивость, модель автомобиля, прямолинейное движение, стационарное состояние.*

Введение

Для динамической системы (1)

$$\dot{x} = f(x),\ x = x_1,...x_n; \tag{1}$$

положение равновесия, или стационарное состояние x_{ss}, определяется решением системы уравнений $f(x_{ss}) = 0$.

Определение устойчивости стационарного состояния по Ляпунову:

Стационарное состояние x_{ss} системы (1) называется устойчивым по Ляпунову, если для любого момента времени t_0 и произвольно малого ε существует такое $\delta_{t_0,\varepsilon} > 0$, что для всякого решения $x(t)$ той же системы, начальное значение которого удовлетворяет неравенству

$$|\,x(t_0) - x_{ss}\,| < \delta_{t_0,\,\varepsilon}\,, \tag{2}$$

при всех $t > t_0$ выполняется неравенство

$$|\,x(t) - x_{ss}\,| < \varepsilon \tag{3}$$

Если имеется по крайней мере одна траектория, не удовлетворяющая этим условиям, то стационарное состояние x_{ss} неустойчиво: существует какая угодно малая окрестность ε, такая, что при любом δ найдутся $t^*, x(t_0)$:

$$\left|x(t_0) - x_{ss}\right| < \delta_{t_0,\varepsilon}\text{, такие, как } \left|x(t^*) - x_{ss}\right| \geq \varepsilon\ . \tag{4}$$

В случае динамической системы удобно представлять процесс изменения фазовых переменных $(x_i(t), \dot{x}_i(t))$ – (координата, скорость изменения координаты) на фазовой плоскости, исключив параметр времени. Если точка остается неподвижной при изменении параметра *t*, то ей соответствует стационарный режим или особая точка системы. Так, устойчивому стационарному состоянию будут соответствовать фазовые траектории, выходящие из δ-окрестности стационарного состояния и в дальнейшем не покидающие его ε-окрестности (рис.1). На неустойчивость стационарного состояния будет указывать наличие хотя бы одной фазовой траектории, которая покидает ε-окрестность.

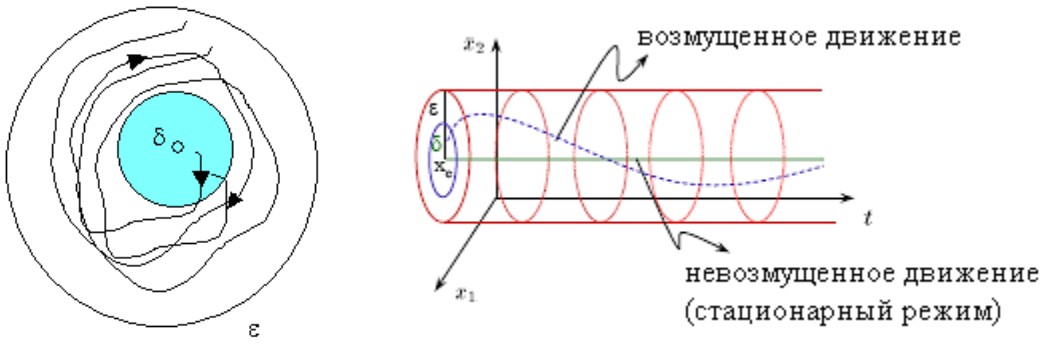


Рис.1. Качественный характер поведения фазовых траекторий в окрестности устойчивого стационарного режима.

Асимптотическая устойчивость. Стационарное состояние x_{ss} называется асимптотически устойчивым, если оно устойчиво по Ляпунову и, кроме того, все решения $x(t)$, выходящие из δ-окрестности, неограниченно приближаются к x_{ss} при $t \to +\infty$.

В определении устойчивости положения равновесия, или стационарного состояния, по А. М. Ляпунову, отражается локальный характер этого понятия, т.е. рассматриваемые начальные и последующие возмущения, вообще говоря, – бесконечно малые величины.

Уравнения в вариациях

Рассмотрим уравнения движения некоторой динамической системы (пусть в данном случае это будет система второго порядка):

$$t \to +\infty \tag{5}$$

Система конечных уравнений

$$\begin{aligned} G(x_1, x_2) &= 0, \\ F(x_1, x_2) &= 0. \end{aligned} \tag{6}$$

определяет множество положений равновесия, или стационарных состояний системы (5). Пусть (x_1^*, x_2^*) – одно из решений системы (6). Рассмотрим поведение решений $x(t)$ системы (5) в малой окрестности указанного стационарного состояния. Скорости изменения координат $\dot{x}_1, \dot{x}_2$ определяются линейными членами разложения правых частей системы (5) в ряд Тейлова в окрестности точки (x_1^*, x_2^*)

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \frac{\partial G}{\partial x_1}\Big|_{(x_1^*, x_2^*)} x_1 + \frac{\partial G}{\partial x_2}\Big|_{(x_1^*, x_2^*)} x_2, \\ \dot{x}_2 &= \frac{\partial F}{\partial x_1}\Big|_{(x_1^*, x_2^*)} x_1 + \frac{\partial F}{\partial x_2}\Big|_{(x_1^*, x_2^*)} x_2; \end{aligned} \tag{7}$$

Переходя в (7) к более простым обозначениям, получим линейную систему в вариациях

$$\begin{aligned} x_1' &= ax_1 + bx_2, \\ x_2' &= cx_1 + dx_2. \end{aligned} \tag{8}$$

Поведение фазовых траекторий в окрестности положения равновесия (x_1^*, x_2^*) определяется корнями характеристического уравнения системы в вариациях (8):

характеристический определитель системы:

$$\begin{vmatrix} a-\lambda & b \\ c & d-\lambda \end{vmatrix} = 0 \ ; \tag{9}$$

характеристическое уравнение:

$$\lambda^2 + p\lambda + q = 0 \tag{10}$$

где $-p = a + d = \left[div(G,F)\right]\Big|_{(x_1^*, x_2^*)} = \lambda_1 + \lambda_2;$

$$q = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = \frac{D(G,F)}{D(x_1,x_2)}\Big|_{(x_1^*, x_2^*)} = \lambda_1\lambda_2.$$

Критерий устойчивости нулевого решения системы в вариациях. Если все корни характеристического уравнения имеют отрицательные действительные части, то нулевое решение асимптотически устойчиво. Если есть корень с положительной действительной частью, то нулевое решение неустойчиво.

В зависимости от вида корней характеристического уравнения могут реализовываться четыре типа особых точек – неподвижных точек фазовой плоскости: узел – корни λ_i действительные и одного знака; фокус – корни λ_i комплексно-сопряженные, причем $\mathrm{Re}(\lambda_i) \neq 0$; центр – чисто мнимые корни; седло – действительные корни различных знаков.

Если особая точка является центром (пара чисто мнимых собственных значений), то факт устойчивости или неустойчивости не может быть установлен на основе системы линейного приближения (**критический случай пары чисто мнимых корней**).

Частное решение уравнения (8), отвечающее собственному значению λ, имеет вид

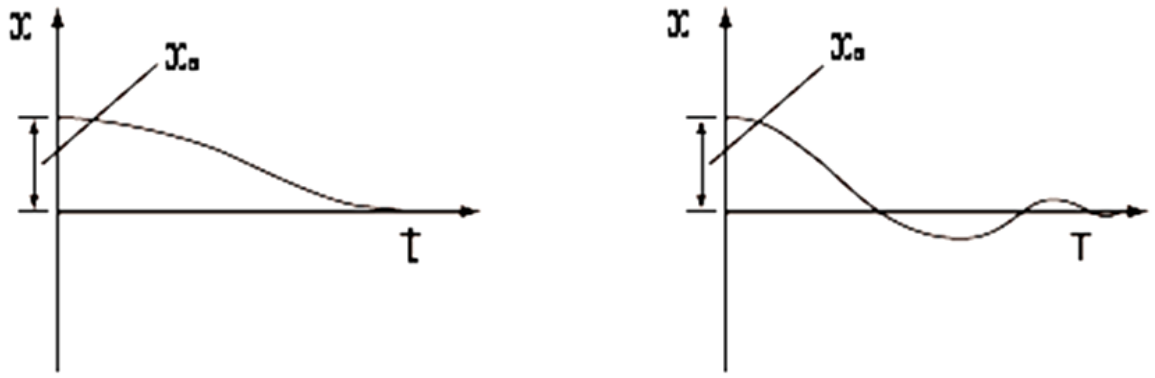
$$\binom{x_1}{x_2} = \bar{\xi}_\lambda e^{\lambda t},$$

где $\bar{\xi}_\lambda$ – собственный вектор, отвечающий собственному значению λ,

$e^{(\alpha+i\omega)t} = e^{\alpha t}(\cos\omega t + i\sin\omega t)$.

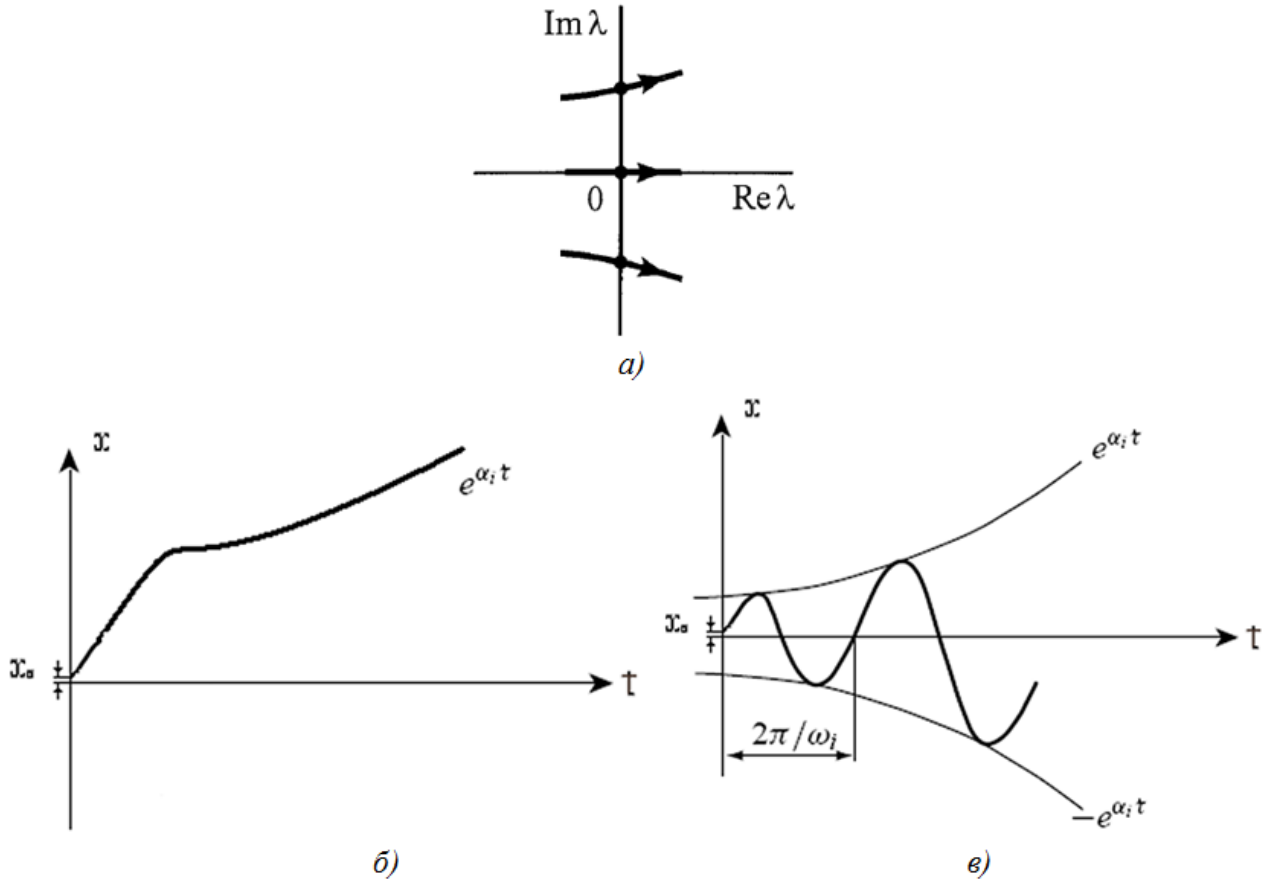
Действительные собственные значения определяют апериодический характер изменения решения системы (6), а комплексные собственные значения – колебательный характер изменения (рис. 2).

Положительному действительному собственному значению отвечает апериодическое (монотонное) возрастание начальных возмущений системы (8) со временем (*дивергентная потеря устойчивости*), а паре мнимых корней с положительной действительной частью – колебательное (флаттерная потеря устойчивости) (рис. 3).



а) *б)*

Рис.2. Иллюстрация устойчивости нулевого решения (эволюция фазовой координаты со временем): а) апериодический характер затухания начальных возмущений; б) колебательный характер затухания начальных возмущений.



а)

б) *в)*

Рис.3. Потеря устойчивости нулевого решения:

а) – пересечение собственными значениями мнимой оси комплексной плоскости (появляются или один действительный корень $\lambda_i = \alpha_i > 0$, *или пара мнимых* $\lambda_i = \alpha_i \pm \omega_i, \alpha_i > 0$*);*

б) – апериодическое (монотонное) возрастание начальных возмущений со временем $\lambda_i = \alpha_i > 0$*;*

в) – флаттерная потеря устойчивости $\lambda_i = \alpha_i \pm \omega_i, \alpha_i > 0$.

Критерий устойчивости Рауса-Гурвица. Характеристическое уравнение системы n линейных дифференциальных уравнений в общем случае представляется полиномом n-й степени

$$a_0\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + ... + a_n = 0, \quad a_0 > 0 \tag{11}$$

Действительные части корней уравнения (6) отрицательны тогда и только тогда, когда положительны все диагональные миноры матрицы Гурвица

$$\Delta_i = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 ... \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 ... \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 ... \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 ... \\ . & . & . & . \end{vmatrix}; \tag{12}$$

$$(n=2): \begin{array}{l} a_0\lambda^2 + a_1\lambda + a_2 = 0, \\ a_0 > 0; \quad \Delta_1 = a_1 > 0; \\ \Delta_2 = a_1 a_2 > 0, \ (a_i = 0, i \geq 3). \end{array} \tag{13}$$

$$(n=3): \begin{array}{l} a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0, \\ a_0 > 0; \quad \Delta_1 = a_1 > 0; \\ \Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0; \\ \Delta_3 = a_3\Delta_2 > 0, \ (a_i = 0, i \geq 4). \end{array} \tag{14}$$

Необходимым условием устойчивости является положительность всех коэффициентов характеристического уравнения (условие Стодолы).

Основная часть

Геометрические и инерционные параметры жесткой модели автомобиля: *a*, *b* – расстояние от центра масс автомобиля до передней (управляемой) оси и задней оси; *m*, *J* – масса и момент инерции автомобиля относительно центральной вертикальной оси; *v* – продольная составляющая проекции скорости центра масс; *u* – поперечная составляющая проекции скорости центра масс; ω – угловая скорость автомобиля относительно вертикальной оси; система дифференциальных уравнений движения в плоскости дороги (u,ω): *V* – производная продольной составляющей центра масс (*v*); *U* – производная боковой составляющей центра масс (u); Ω – производная угловой скорости ω по времени.

Математическая модель двухосного автомобиля с управляемой задней осью задается системой (15):

$$\begin{array}{l} -m(v - \omega u) + X1\cos(\theta 1) + X2\cos(\theta 2) - Y1\sin(\theta 1) - Y2\sin(\theta 2) = 0 \\ -m(U + \omega v) + X1\sin(\theta 1) + X2\sin(\theta 2) + Y1\cos(\theta 1) + Y2\cos(\theta 2) = 0 \\ -J\Omega + a(X1\sin(\theta 1) + Y1\cos(\theta 1)) - b(X2\sin(\theta 2) + Y2\cos(\theta 2)) = 0 \end{array} \tag{15}$$

Углы увода:

$$\delta 1 = \theta 1 - \arctan\left(\frac{u + a\omega}{v}\right)$$
$$\delta 2 = \theta 2 + \arctan\left(\frac{-u + b\omega}{v}\right) \tag{16}$$

Силы увода:

$$Y1 = \frac{\left(-0,0012Z1^2 + 19Z1\right)\delta 1}{\sqrt{1 + \frac{\left(-0,0012Z1^2 + 19Z1\right)^2 \delta 1^2}{\phi 1^2 Z1^2}}}$$
$$Y2 = \frac{\left(-0,0012Z2^2 + 19Z2\right)\delta 2}{\sqrt{1 + \frac{\left(-0,0012Z2^2 + 19Z2\right)^2 \delta 2^2}{\phi 2^2 Z2^2}}} \tag{17}$$

являются нелинейными функциями углов увода, вертикальных реакций Z_i и коэффициентов сцепления в поперечном направлении ϕ_i.

После определения из первого уравнения системы (15) величины силы тяги X_1, необходимой для реализации движения с постоянной продольной составляющей скорости v, придем к системе относительно двух фазовых переменных (u, ω).

Закон управления задней осью выберем в виде линейной функции по фазовым переменным (u, ω):

$$\theta 2 = Ku\,u + K\omega\,\omega\,. \tag{18}$$

Уравнения линейного приближения имеют вид:

$$U = \frac{-mv\omega - \frac{k1\left(u + a\omega\right)}{v} + k2\left(\theta 2 + \frac{-u + b\omega}{v}\right)}{m}$$
$$\Omega = \frac{-\frac{ak1\left(u + a\omega\right)}{v} - bk2\left(\theta 2 + \frac{-u + b\omega}{v}\right)}{Jz} \tag{19}$$

Соответствующее характеристическое уравнение:

$$\lambda^2 mv^2 Jz + \left(k2\,v\,Jz + mvb^2 k2 - k2\,Ku\,v^2 Jz + mva^2 k1 + mv^2 bk2K\omega + k1v\,Jz\right)\lambda -$$
$$-mv^3 bk2Ku - k1a\,b\,k2\,Ku\,v + k1b^2 k2 + k2\,a^2 k1 - k2\,Ku\,v\,a^2 k1 - m\,v^2 k1a + m\,v^2 b\,k2 + \tag{20}$$
$$+2k1a\,b\,k2 + k1b\,k2\,K\omega v + k2\,K\omega v\,k1a = 0$$

Свободный член характеристического уравнения (A2<0 – условие дивергентной потери устойчивости прямолинейного движения)

$$-mv^3bk2\,Ku+\left(mbk2-mk1a\right)v^2+$$
$$+\left(-k2\,Ku\,a^2k1-k1abk2\,Ku+k1bk2\,K\omega+k2\,K\omega k1a\right)v+ \quad (21)$$
$$+k1\,b^2\,k2+k2\,a^2\,k1+2k1abk2$$

Kω>0, Ku<0 имеет увеличение критической скорости прямолинейного движения, либо ее отсутствие.

Результаты численного анализа системы. Для представленных ниже числовых значениях параметров системы:

$$A=a+0,465;$$
$$B=b+0,615;$$
$$KOL:=1,6;$$
$$m=1675;\ l=2,675;$$
$$b=1;\ \ a=1,675;$$
$$J=2617;$$
$$K\omega=0,2;\ Ku=-0,1$$

На основе численного интегрирования системы получены характеристики динамического поведения системы с учетом управления задней осью и без нее (рис.4, v=15 м/с).

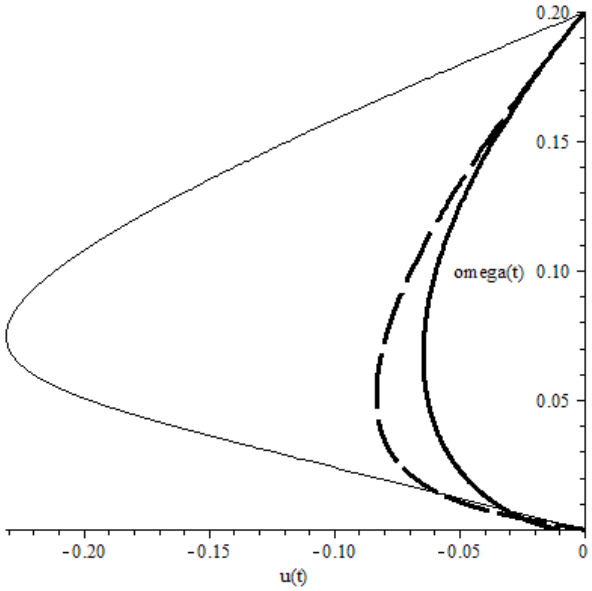


Рис.4. Затухание начальных возмущений фазовых переменных при (*Kω*=0,2; *Ku*=-0,1 – сплошная толстая линия); (*Kω*=0;*Ku*=0 – сплошная тонкая линия); (*Kω*=0,2;*Ku*=0 – пунктирная линия).

Критическая скорость прямолинейного движения:

$K\omega$=0; Ku=0 – $V кр$=22,054м/с;

$K\omega$=0,2; Ku=0 – $V кр$=46,766 м/с;

$K\omega$=0,2; Ku= –0,1 – $V кр$ отсутствует.

Сравнительный анализ круговых стационарных режимов (рис.5, v=5 м/с)

u=0,2138899969; ω=0,3515201061 стационарный режим без управления;
u=0,4052710959; ω=0,2513415125 стационарный режим при $K\omega$=0,2; Ku=0;
u=0,3186531120; ω=0,2967181576 стационарный режим при $K\omega$=0,2; Ku= –0,1

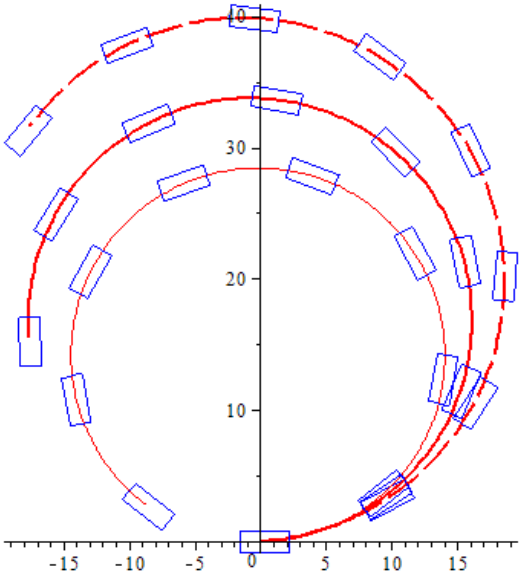


Рис.5. Траектории Ц.М. автомобиля при различных законах управления задней осью

Выводы

Основная составляющая управляющего воздействия с точки зрения стабилизации прямолинейного движения задается членом $K\omega*\omega$, однако такой закон управления задней осью затрудняет управление автомобилем в круговых режимах движения. Отрицательный эффект можно несколько нивелировать введением второго слагаемого $Ku*u$.

Список литературы

1. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин / Л.Г. Лобас, В.Г. Вербицкий. – К.: Наукова думка, 1990. – 232 с.

2. Управляемость автомобиля / Д. Р. Эллис. – М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.

Стрільник Ю.М. Аналіз стійкості прямолінійного руху моделі автомобіля з керованою задньою віссю (цілком жорстка модель керування).

Анотація. *В статті проведено аналіз стійкості прямолінійного руху моделі автомобіля з керованою задньою віссю.*

Ключові слова: *стійкість, модель автомобіля, прямолінійний рух, стаціонарній стан.*

Strelnik Y.N. Analysis of stability of rectilineal motion of the model vehicle with driven rear axle (absolutely rigid management model).

Abstract. *In the article the analysis of stability of rectilineal motion of the model vehicle with driven rear axle.*

Keywords: *sustainability, model car, straight, steady state.*

Стаття надійшла до редакції 02.11.2015 р.

УДК 629.119

ЛУКИЧЕВ А.В., к.т.н., доцент; САКНО О.П., к.т.н.
Донецкая академия автомобильного транспорта

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОБОТОВ-АССИСТЕНТОВ РАЗЛИЧНОЙ КИНЕМАТИКИ В АВТОСЕРВИСЕ

Приведены данные о вариантах реализации общей системы роботов-ассистентов и их колесных движителей в современных условиях и проанализирована возможность их использования в условиях СТО, АТП и других предприятий отрасли при выполнении работ по обслуживанию и ремонту автомобилей.
***Ключевые слова**: транспорт, робот-ассистент, колесный движитель, базовая поверхность.*

Постановка проблемы

Первые попытки создания промышленных колесных роботов были связаны с возникновением гибких производственных систем. Развитие современных технологий в техническом обслуживании и ремонте (ТОиР) автомобилей предусматривает все более активное использование роботов. Использование мобильных роботов целесообразно во многих сферах производства: в основных и вспомогательных операциях. Такое разнообразие обусловливает большое количество вариантов движителей для роботов. Самые универсальные из них – колесные и гусеничные. Колесные работы предназначены для перемещения разнообразных объектов от одного пункта к другому в пределах неструктурированного, а потому не всегда безопасного для человека рабочего пространства. Но в условиях СТО или АТП возникает потребность в разработке свободно программируемых роботов-ассистентов, которые могут самостоятельно или под дистанционным управлением выполнять задание человека по перемещению и оперированию объектами.

Для оборудования складов и вспомогательных помещений СТО и АТП наиболее целесообразной конструкцией является мобильная платформа, построенная по модульному принципу. Модульные модели нуждаются в большем месте и более тяжелые, но при этом более эффективны в производстве и обслуживании.

Анализ последних исследований

Исследование в области робототехники широко распространены в разных отраслях использования. Наиболее глубокие исследования роботов-ассистентов, используемых в промышленных условиях, проводятся в Германии [1,2,3,4]. Особенное внимание при этом уделяется управлению колесным движителем, наиболее распространенным при работе в производственных помещениях [5].

Данная публикация имеет целью дальнейшую систематизацию конструкций подсистем колесного подрессоренного движителя робота-манипулятора и вариантов реализации их общей системы для последующего динамического анализа колесных движителей [6,7,8].

Из существующих схем роботов понятно, что одними из главных модулей являются привод движения и подвеска. Основные рабочие характеристики некоторых существующих в настоящее время модульных платформ (robuROC4, PowerBot, Scitos G5, ibot, LABO-4): тип платформы, максимальная скорость, личный вес, полезная нагрузка, средний срок действия и время зарядки батареи, максимальная высота препятствия и угол уклона. Именно по их сравнению принимается решение об использовании робота-ассистента.

Цель статьи

Целью данной работы является систематизация конструкций подсистем колесного подрессоренного движителя робота-манипулятора и вариантов реализации их общей системы для последующего динамического анализа колесных движителей.

Основной материал исследования

Прежде всего, необходимо проанализировать форму базовой поверхности движителя. В таблице 1 приведены возможные формы базовых поверхностей, пригодные для использования в условиях наличия эталонных проходов шириной 600 мм, что достаточно характерно для условий СТО, причем при движении избирается защитное расстояние от ограждений или стен по 50 мм с каждой стороны.

Анализируя данные таблицы 1, принимаем наиболее удачными формами базовой поверхности варианты G3, G6, G7. Они имеют достаточную площадь и лучшую проходимость при наличии узких поворотов, поэтому в дальнейшем детальнее рассмотрим именно их характеристики [5].

Проведем сравнительный анализ конструктивных вариантов колес, которые удовлетворяют требованию «Преодоление всех эталонных неровностей поверхности осуществляется на наименьшей средней скорости, если препятствия имеют большую площадь – на максимальной скорости» и другим требованиям. В соответствии с ними мягкие колеса диаметром от 260 мм могут не подрессориваться и использоваться в качестве приводных колес. Подрессоренные приводные колеса являются принципиально неблагоприятными и требуют, как и в случае уличного транспорта, передачи механических приводных напряжений на шасси, например, через карданный вал.

Подвеска и колесо – сложная механика с большим количеством сочленений, требует много места для монтажа в шасси. Примеры для нескольких вариантов шасси продемонстрированы в таблице 3. Из-за этих характеристик вариант подрессоренных приводных колес не будет рассматриваться. В условиях закрытых помещений могут использоваться как подрессоренные, так и приводные колеса без подрессоривания.

В таблице 3 представлены выбранные варианты приводных и управляемых колес с перечислением минимальных размеров. Диагональные рычаги подвески, как на переднем колесе велосипеда, не указаны, но могут рассматриваться как вариант при пассивном управляемом ролике.

Инерционное движение – расстояние между точкой пересечения средней плоскости колеса с базовой поверхностью и точкой пересечения между направляющей осью и полом, чтобы колесо следовало по направлению движения.

В таблице 4 представлены варианты [2] расположения колес для G3, G6 и G7, с которыми возможно маневрирование через эталонный проход. Эти конструкции наиболее компактны из всех вариантов. Для G7 возможно использование только предложенного варианта, потому что при всех других вариантах для приводных и управляемых колес не хватает подвижности для маневрирования в проходе. Неподрессоренные управляемые ролики возможно использовать только в K2 из-за недостатка места. По поводу того же для G3 возможно лишь дифференциальное управление. Если управляемый одинарный или двойной подрессоренный ролик будет использоваться для K2 и K3, то можно механически соединить передний и задний ролики [3] и убрать из конструкции один привод управления.

Таблица 1

Варианты выполнения базовых поверхностей и маневров в эталонном проходе [1]

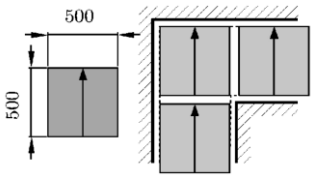
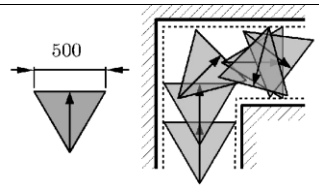
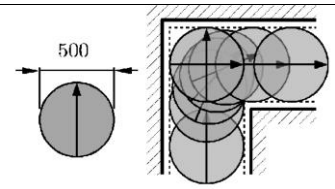
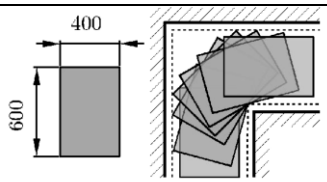
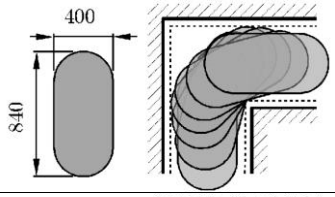
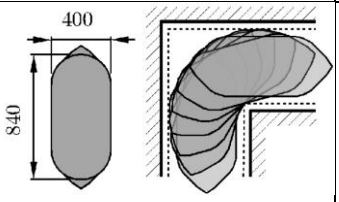
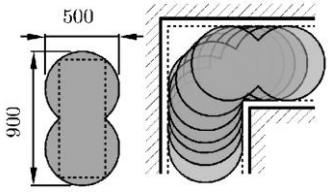
	Эскиз и эталонный проход (мм)	Описание, площадь, преимущества (+), недостатки (–)
Вариант G1		**Квадратная форма** – возможна лишь при использовании специальных колес. Площадь 0,250 м^2. – Необходима высокая точность траектории для прямолинейного движения и для проезда поворотов.
Вариант G2		**Треугольная форма** – маневрирование с поворотами и изменением направления движения. Площадь 0,125 м^2. + соблюдение точной траектории поворота не нужно; – необходима высокая точность траектории для прямолинейного движения и в процессе разворота движителя при этом движении, малая базовая поверхность.
Вариант G3		**Круглая форма** – вариант равностороннего n-угольника с максимальной площадью. Маневрирование с поворотами и изменением направления движения. Площадь 0,196 м^2. + сохранение точной траектории в повороте не нужно, двигается без перекоса и вынужденных остановок; – необходима точность траектории прямого движения.
Вариант G4		**Прямоугольная форма** – примерные размеры, возможно другое соотношение длины и ширины. Площадь 0,24 м^2. + простые форма и дизайн, не нужна высокая точность сохранения траектории при движении по прямой; – нужна высокая точность траектории при преодолении поворота, риск перекоса и вынужденных остановок.
Вариант G5		**Прямоугольная с округленными углами** – возможно другое соотношение сторон. Площадь 0,302 м^2. + большая площадь, не нужна высокая точность сохранения траектории при движении по прямой; – нужна высокая точность при повороте, риск перекоса.
Вариант G6		**Кораблеобразная** – скругленная прямоугольная форма (т.е. оптимизированная форма G5 с заостренными внешними поверхностями), маневрирует движением вперед и назад. Площадь 0,306 м^2. + большая площадь, не нужна высокая точность траектории при движении по прямой; – нужна высокая точность траектории при повороте, риск перекоса и вынужденных остановок.
Вариант G7		**Костеобразная** – прямоугольная форма (все вершины удалены; оптимизированная форма G5); возможно другое соотношение сторон. Площадь 0,357 м^2. + большая площадь; – нужна высокая точность сохранения траектории при движении по прямой и при преодолении поворота, риск перекоса и вынужденных остановок при преодолении поворота.

Таблица 2

Варианты шасси с подрессориванием для ведущих колес [2]

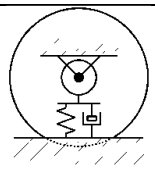
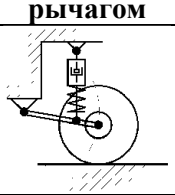
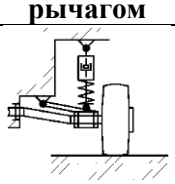
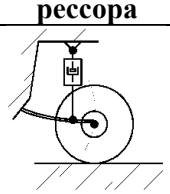
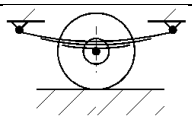
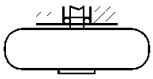
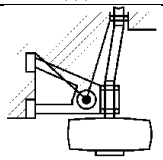
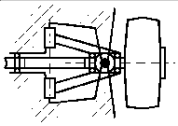
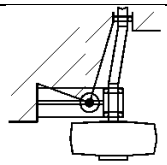
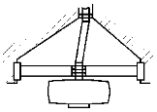
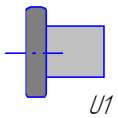
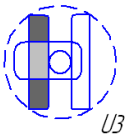
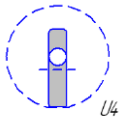
	Без подвески	**Механика с продольным рычагом**	**Механика с поперечным рычагом**	**Продольный рычаг и плоская рессора**	**Плоская рессора**
Вид сбоку					
Вид сверху					
Описание	Корпус колеса с упругим влиянием, нет сочленений и карданных валов	Винтовая пружина с телескопическим амортизатором, минимум 4 сочленения и карданный вал	Винтовая пружина с телескопическим амортизатором, минимум 4 сочленения и карданный вал	Кулиса из плоской рессоры и телескопический амортизатор, минимум 2 сочленения и карданный вал	Пакет из плоских рессор со свойствами управления колесом, минимум 2 сочленения и карданный вал
Легенда: ▯ *– сочленение,* ▮ *– подшипник качения*					

Таблица 3

Вид сверху вариантов приводных и управляемых колес

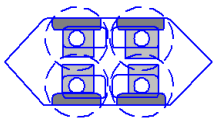
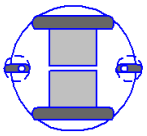
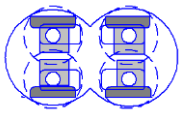
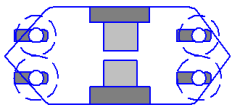
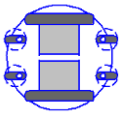
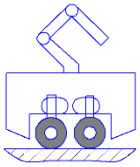
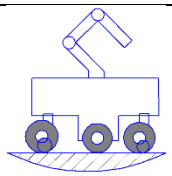
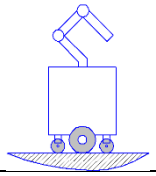
	Неподвижное приводное колесо	**Управляемое приводное колесо**	**Управляемый одинарный или двойной ролик**	**Пассивный управляемый ролик**	**Пассивный управляемый двойной ролик**	**Описание**
Неподрессоренные						Ø колеса/ширина: ≥ 260 х 60 мм
		Ø ≥ 300 мм	Ø ≥ 300 мм	Ø ≥ 340 мм	Ø≥370 мм	Площадь
Подрессоренные						Ø колеса/ширина: ≥ 100 х 42мм (140 х 45)
			Ø ≥ 180 мм	Ø ≥ 180 мм	Ø≥210 мм	Площадь
Легенда: ▭ *место привода ходовой части* ◯ *место привода вращения*						

Из всех до сих пор рассмотренных вариантов более детально исследуем вариант К3, т.к. варианты К1 и К2 должны быть оснащены двойным комплектом навигационных сенсоров, потому что без них невозможным является дистанционное управление в узком месте. Оценка, приведенная в таблице 4, показывает, что для этих вариантов существуют значительно более весомые проблемы, чем для варианта К3. Но совсем не исключено, что варианты кинематики К1, К2

или другие могут быть рациональным вариантом для конкретной реализации, которая удовлетворяет всем условиям.

Таблица 4

Варианты кинематики робота-ассистента

	Вариант кинематики К1	Вариант кинематики К2	Вариант кинематики К3
Вид сверху	 G6 + U2	 G6 + U1 + U3/U4/U5/F1/F2/F3)	 G3 + U1 + F1/F2/F3
	 G7 + U2	 G6 + U1 + F1/F2/F3	 G3 + U1 + F1/F2/F3
Сбоку			
Оценка	+ компенсация неровностей, нет дополнительного подрессоривания, многонаправленный; – 8 независимых приводов, сложное управление, занимает много места, очень точная траектория поворота, иначе риск столкновения или вынужденной остановки	+ простое управление кинематикой; – большие прогибы рессор для компенсации неровностей, занимает много места; точная траектория поворота, риск столкновения или остановки, неблагоприятные расстояния между колесами для дифференциального управления	+ компенсация неровностей, простое управление кинематикой, невозможна вынужденная остановка + свободное маневрирование в повороте, возможен поворот на месте без дополнительной площади, дистанционное управление в узких местах – высокий центр масс, возможное опрокидывание

Для варианта кинематики К3 (табл. 5) можно подобрать по меньшей мере 5 подвариантов с использованием разных типов управляемых колес. Заштрихованные плоскости, плоскости стойкости, возникают из-за соединения точек пересечения средней плоскости колеса с опорной поверхностью, таким образом определяется область, внутри которой результирующие силы притяжения и горизонтальной силы могут пересечься в центре масс без опрокидывания робота. Можно сказать, что управляемые вращательные ролики, угол управления которых не может быть изменен извне, являются более благоприятным вариантом. Будем рассматривать, в основном, варианты кинематики К3-IV и К3-V, но все полученные результаты можно в полной мере задействовать и для вариантов К3-I, -II и -III.

Характеристическими свойствами пассивной подвески является прогиб и характеристика рессоры, характеристика затухания. Минимальный прогиб можно установить путем анализа неровностей поверхности. В таблице 6 приведены данные для варианта расположения колес К3-V. Обеспечивается распределение нагрузки на колеса. Все случаи принимаются статическими, а центр масс – расположенным посередине над ведущей осью.

Таблица 5

Варианты кинематики КЗ и сравнение плоскостей стойкости вариантов с пассивными и управляемыми вращательными роликами

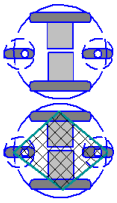
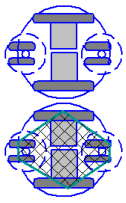
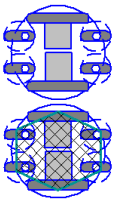
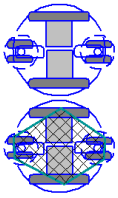
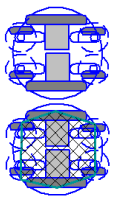
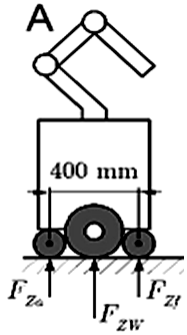
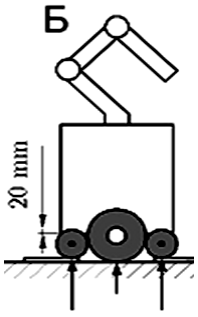
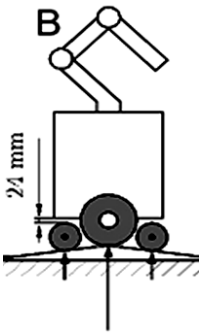
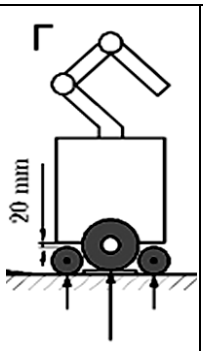
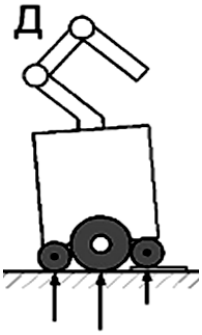
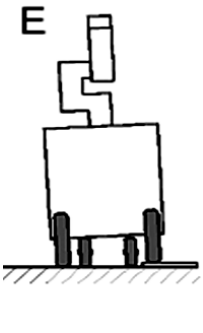
I	II	III	IV	V
				
Пассивно управляемые ролики			Управляемые ролики	
– пассивно управляемые ролики не воспринимают поперечные усилия; – плоскости стойкости в направлении движения небольшие => высокая возможность опрокидывания вперед при торможении, при столкновении передних колес с порогом и при объезде порога или посторонней рампы; – высокая возможность опрокидывания при проезде поворотов и одновременном ускорении или торможении, из-за того, что ролики не воспринимают поперечные усилия; плохая стойкость при движении через препятствие на наклоненной поверхности			+ вращательные ролики воспринимают поперечные усилия, малая возможность опрокидывания при проезде поворотов и одновременном ускорении или торможении; + хорошая стойкость при движении через препятствие на уклоне, когда угол управления не может быть изменен из вне; + вращение роликов может заменить стояночный тормоз	
– Плоскости стойкости между точками пересечения средней плоскости колеса с опорной поверхностью				

Таблица 6

Нужные прогибы рессоры при условиях неровностей поверхности и приблизительных распределениях нагрузок на колеса [4]

А	Б	В	Г	Д	Е
					
Движитель на ровной поверхности	2 управляемых колеса на порогах	Движитель на вершине рампы	Приводные колеса на пороге	Въезд на порог, колебание	1 приводное колесо на пороге
Расстояние между осями $s_S \approx 400mm$, нагрузка на колесо: F_{Za}, F_{Zf} $F_{ZW} = F_{Zl} + F_{Zr}$	Прогиб рессоры по 20 мм, F_{ZW} значительно больше при буксовании	Изгиб – 24 мм, F_{Za} и F_{Zf} большие, для предотвращения колебаний	Изгиб рессоры по 20 мм, меньше, чем в случае В	Нужен меньший прогиб, чем слева $F_{Za} > F_{Zf}$	Нужен меньший прогиб, чем слева

Если подрессоривание управляемых колес составляет 24 мм (В), должна добавляться противодействующая сила, для того чтобы вернуть робот в вертикальное положение. Поэтому из-

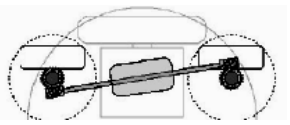
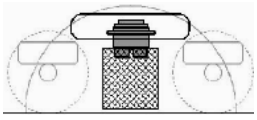
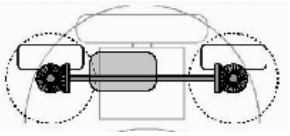
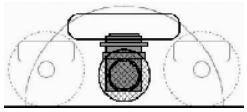
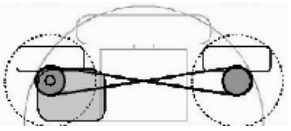
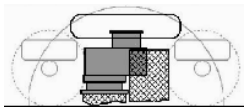
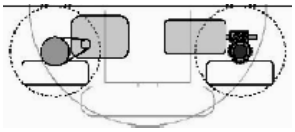
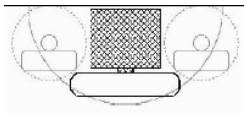
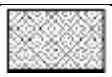
гиб рессоры должен быть больше, чем 24 мм. При подрессоривании в механическом исполнении должен быть конечный упор, который контролирует прогиб на уровне минимум 20 мм (Б). В случаях Г, Д, Е необходимые прогибы меньше.

Механика вращения, приводы поворота и движения могут быть сконструированы из компонентов промышленной механики приводов. Они и их параметры должны выбираться в соответствии с общим весом робота, параметрами рабочего пространства и требованиями: «максимальная скорость 2 м/с»; «преодоление всех эталонных неровностей поверхности осуществляется на наименьшей средней скорости, если препятствия имеют большую площадь – на максимальной скорости»; «принципиальная возможность для защиты от воспламенения для зоны 1, оценка опасности воспламенения как для неэлектрического оборудования».

В таблице 7 приведены возможные концепции вариантов реализации. Привод вращения имеет самоторможение, что может быть достигнуто путем использования шнековой передачи с большим передаточным числом.

Таблица 7

Варианты механики вращения, приводы вращения (слева) и приводы движения [2]

	Шнековая передача на направляющей оси, двигатель приводит в движение шатун		Планетарная передача + сервомотор, симметричный
	Конические колеса на направляющей оси, двигатель вращения приводит в движение шатун		Планетарная или коническая передача + сервомотор установлен сверху
	Перекрещенные, двусторонние, укрепленные цепи, двигатель приводит в движение шатун		Цилиндрическая зубчатая передача, установленная сверху + сервомотор
	Раздельные приводы: слева ременная или цепная передача, справа шнековая		Сервомотор с несколькими выходами (прямой привод)
Легенда			
 Привод вращения (например, двигатель с редуктором)	 Редуктор (передача)	 Вращающееся колесо, направляющая ось, место поворота	 Привод движения

В правой части таблицы 7 рассмотрены варианты привода движения, которые выполнены в виде комбинации двигателя и редуктора или как прямой привод. Приводы с цепными и ременными передачами не будут рассматриваться, хотя они в целом могут быть использованы, потому что являются удобными в техническом обслуживании. Передачи могут быть вмонтированы в ступицу колеса. Кроме электродвигателей допустимо использование гидравлических двигателей, но, как правило, они не приспособлены для точной работы на малых оборотах и вместе с системой гидравлики имеют низший общий КПД. Поэтому для использования в качестве привода может быть избрана любая схема с сервомотором.

Важным также является выбор шин. Шины из пластичного материала или твердого эластомера (> 80° Шор А) могут быть повреждены даже при медленном столкновении с острым порогом и не смогут использоваться. При условиях движения по неровностям пола со средней скоростью колеса могут быть легко повреждены, но для монтажа соответственно больших колес не хватает места. Мягкие шины (< 70° Шор А) могут быть получены из эластичной резины. Резиновые шины стойкие к ультрафиолету, но вовсе не стойки к загрязнениям маслом, бензином или парафином. Требования сведены в табл. 8.

Таблица 8

Требования к шинам и колесам

Колеса и шины	Оттиск шины, опорная площадь > 42 мм^2, для мягких шин – большая
	Диаметр > 100 мм, преимущественно больший, но как можно меньший из-за небольшого количества рабочего пространства
	Дополнительно подрессоренные, если диаметр < 260 мм
	Твердость шин < 80° Шор А, если это возможно
	Легкосменные

На основе проведенного исследования существующих моделей роботов-ассистентов были сформулированы основные требования к роботам такого типа, их составным частям и общим характеристикам. Соблюдение этих требований является необходимым для повышения конкурентоспособности новых моделей роботов-ассистентов на рынке, потому что они являются оптимизированным отображением всего спектра предложений, которые на сегодняшний день существуют на этом рынке. Критериями постановки требований были динамические характеристики, высокая проходимость и маневренность, широкий спектр возможных областей применения, достаточная защищенность робота при условиях работы рядом с опасными объектами.

Выводы

Результат анализа вариантов реализации общей системы роботов-манипуляторов определил наиболее рациональный вариант компоновки робота-ассистента для использования в условиях СТО, а именно: выбор базовой поверхности, кинематики движителя и варианты пассивных и управляемых вращательных роликов. Рассматривались варианты реализации подсистем и принципы построения конструкции. Они могут быть скомпонованы с любой нужной функциональной надстройкой к общему варианту системы робота-ассистента, которая удовлетворяет всем требованиям, то есть чтобы робот-ассистент с подрессоренным движителем мог в любых условиях поверхности и окружающей среды, которые существуют в условиях систем обслуживания автомобилей и рабочем окружении человека, работать без ограничений его мобильности. Как сфера деятельности этого робота в данном случае принимается транспортировка запасных частей и инструмента в условиях производственных участков и зон ТО и ПР и складов, при этом учитывается возможность узких проходов и наличие ступенчатых препятствий на пути робота-ассистента.

Определены пути дальнейшего исследования оптимальной компоновочной схемы робота-ассистента, изучения динамических характеристик.

Список литературы

1. Elbl, H.; Foll, W.; Schuler, W.: Tabellenbuch Fahrzeugtechnik. 21. Aufl. Stuttgart: Holland + Josenhans Verlag, 2001.

2. Diegel, O.; Potgieter, J.; Badve, A.; Bright, G.; Tlale, S.: Improved Mecanum Wheel Design for Omni-Directional Robots, 2002.

3. Mandow, A.; Gomez-de-Gabriel, J. M.; Martinez, J. L.; Munoz, V. F.; Ollero, A.; Garcia-Cerezo, A.: The autonomous mobile robot AURORA for greenhouse operation, 1996.

4. Graf, B.; Hans, M.; Schraft, R. D.: Mobile robot assistants, 2004.

5. Hans, Matthias: Eine modulare Kontrollarchitektur für den Hol- und Bringdienst von Roboterassistenten. Heimsheim: Jost Jetter Verlag, 2005. Stuttgart, Univ., Fak. Maschinenbau, Diss., 2005.

6. Лукічов О.В. Аналіз варіантів реалізації загальної системи роботів-маніпуляторів та підсистеми підресореного колісного рушія / Лукічов О.В., Лукічова О.О., Сакно О.П. // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2010. – №6 (148). – С.130-134.

7. Сакно О.П. Вибір оптимальної конструкції підресореного колісного рушія та загальної системи робота-маніпулятора / Сакно О.П., Лукічов О.В., Легкий С.А., Лукічова О.А. // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2011. – №5 (159). – С.285-290.

8. Сакно О.П., Лукичев А.В. Структура и кинематика колесного движителя робота-ассистента в условиях СТО и АТП // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]: материалы X междунар. заочн. науч.-техн. конф. 15 мая 2015 г., Пенза / [редкол.: Э.Р. Домке (отв. ред.) и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2015. – С. 261-270.

Лукічов О.В., Сакно О.П. Перспективи використання роботів-асистентів різної кінематики в автосервісі

Анотація. *Приведено дані про варіанти реалізації загальної системи роботів-асистентів і їх колісних рушіїв в сучасних умовах і проаналізовано можливість їх використання в умовах СТО, АТП і інших підприємств галузі при виконанні робіт з обслуговування і ремонту автомобілів.*

Ключові слова: *транспорт, робот-асистент, колісний рушій, базова поверхня*

Lukichov O.V., Sakno O.P. Prospects of the use of robots-assistants of different kinematics are in motor-car service

Annotation. *The realization of the general system of robots-assistants and their wheeled engines given about variants is resulted in modern terms. Possibility of the use of robots is analysed in the conditions of enterprises of motor-car service for implementation of works on service and repair of cars.*

Keywords: *transport, robot-assistant, wheeled engines, base surface*

Стаття надійшла до редакції 27.10.2015 р.

УДК 531; 629.113

СУНЦОВ Н.В., д.х.н., к.ф.-м.н.; СУНЦОВ А.Н., к.ф.-м.н., доц.;
СТРЕЛЬНИК Ю.Н., инженер
Донецкая академия автомобильного транспорта

К ВОПРОСУ О ПОТЕРЯХ ЭНЕРГИИ НА КАЧЕНИЕ ЭЛАСТИЧНЫХ КОЛЕС АВТОМОБИЛЯ

Проведена оценка энергетических затрат на преодоление сопротивления качению эластичных колес автомобиля при его движении по сухому асфальтобетону. Используется экспоненциальная зависимость коэффициента сопротивления качению от величины давления воздуха в шине и скорости движения.
Ключевые слова: *автомобиль, эластичная шина, сопротивление качению*

Введение

Для получения надежных данных о *влиянии скорости* на величину коэффициента сопротивления качению колеса автомобиля авторами работ [1-2] был выполнен анализ результатов экспериментальных исследований и литературных данных по определению коэффициентов сопротивления качению колеса автомобиля с целью установления математических закономерностей, связывающих величину коэффициента сопротивления качению со скоростью движения автомобиля и давлением воздуха в шинах в широких интервалах скоростей 30-170 *км/ч* и давлений 100-500*кПа*. Для выяснения физики процессов, влияющих на величину коэффициента сопротивления качения, были выбраны особые условия, при которых влиянием некоторых параметров можно пренебречь. Так, например, при движении колеса по асфальтобетонному покрытию со скоростью 30 *км/ч* и давлении воздуха в шинах 200 *кПа* величина $k = 0,015$ [1-9]. Значение увеличивается с ростом скорости и падает при увеличении давления в шинах. Эти условия эксперимента уникальны, потому что хорошо проявляются влияния давления воздуха в шине и скорости движения. При этом можно пренебречь, в первом приближении, влиянием неровностей дороги и деформацией ее поверхности, а также потерей энергии на отрыв шины от опорной поверхности. Все измерения проведены в одинаковых условиях и в достаточном количестве, что позволяет более точно выявлять значимость влияния давления и скорости на величину k в относительных единицах. Зависимости коэффициента сопротивления качению от скорости движения и давления в шине описываются сложными кривыми. Величина k существенно меняется при изменении давления P и скорости движения V. В трехмерном пространстве (k, P, V) экспериментальные точки представляют собой сложную поверхность. Исследования показали [1-2], что все зависимости – сложные кривые, кроме случая $\ln k - V$. Это позволяет получить уравнения прямых с большой точностью с помощью метода наименьших квадратов (точность расчетов значительно превосходит ошибки результатов измерений).

Таким образом, общий вид зависимости $k_i = f(V)$ при $P_i = const$ имеет вид:

$$\ln k_i = \ln k_{0i} + c_i V, \qquad (1)$$

где c_i – тангенс угла наклона прямой в графике $\ln k - V$.

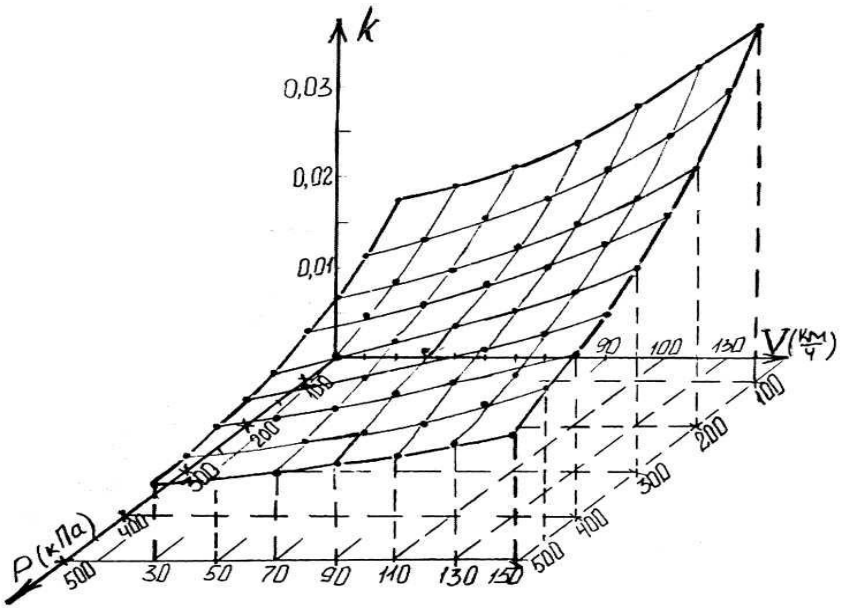


Рис. 1. Зависимость коэффициента сопротивления качению от скорости движения автомобиля и давления воздуха в шинах в трехмерном пространстве (k,V,P)

Из уравнения (1.2) следует, что:

$$\ln\left(\frac{k}{k_0}\right) = cV \quad \text{для данного } k_0.$$

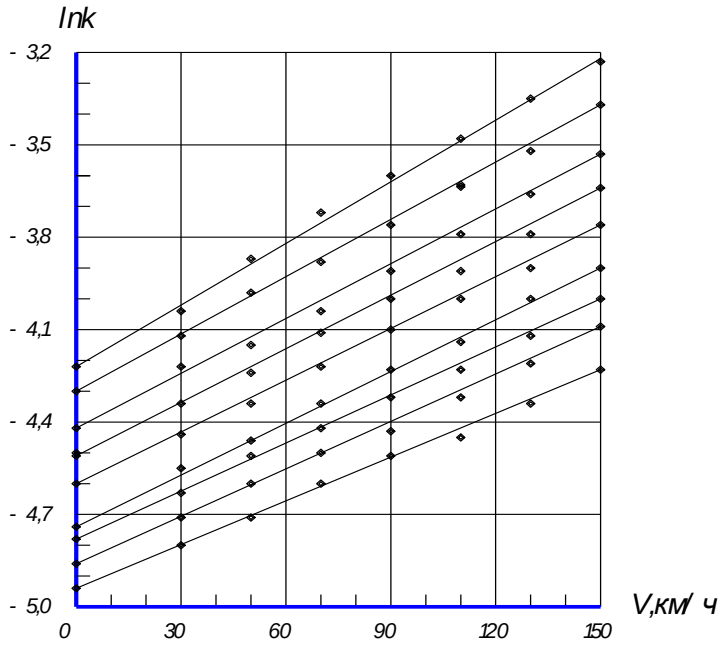


Рис. 2. Зависимость $\ln k$ **от** V **при различном давлении воздуха в шине [1-2]**

Тогда:

$$\frac{k}{k_0} = \ell^{cV} \quad \text{или} \quad k = k_0 \cdot \ell^{cV} = k_0 \cdot \ell^{\frac{V}{V_0}}. \qquad (2)$$

Величина $\ln\left(\frac{k}{k_0}\right)=\frac{V}{V_0}$ показывает, во сколько раз линейная скорость колеса превышает *некоторую* эффективную скорость V_0. Очевидно, что здесь имеется ввиду эффективный радиус колеса (R-h). Эластичная шина, наполненная воздухом, является упругой средой. Под действием внешних сил в этой среде будут возникать деформации. После появления внешних влияний деформация распространяется в упругой среде в виде волн, которые переносят энергию. Очевидно, что эти волны будут со временем угасать, а энергия их перейдет в теплоту.

Во время качения ведущего колеса по поверхности дороги в эластичной шине возникают некоторые сжатия и растяжения [4]. Таким образом, у ведущего колеса могут возникать продольные волны. При этом действует сила упругости, которая возвращает в положение равновесия смещенные части упругой системы.

Наличие угла схождения колес приводит при движении автомобиля к деформации шины в области ее контакта с дорогой. Пятачок контакта смещается. Это приводит к появлению поперечных колебаний (к поперечным волнам).

Благодаря наличию силы тяжести и силы вертикальной реакции дороги создается дополнительное давление воздуха в шине и автомобиль «*проседает*» до тех пор, пока сила упругости не уравновесит силу веса.

$$\mathrm{F_{упр}} = -\mathrm{z}\cdot\Delta\mathrm{h}, \tag{3}$$

где z – коэффициент упругости системы «*эластичная шина – сжатый воздух*» в вертикальном направлении h;

Δh – величина деформации в направлении h.

Наличие явления «*проседания*» на величину Δh приводит к тому, что точки поверхности колеса будут совершать также поперечные колебания, что приведет к появлению поперечных волн.

Это наиболее значительные колебания поверхности шины, потому что имеются значительные отклонения колеблющихся точек от положения равновесия.

Следует отметить, что при движении автомобиля за счет энергии двигателя возникает постоянная деформация шины, которая тем больше, чем меньше давление воздуха в ней. При этом практически не увеличивается сжатие воздуха ($P_W = const$).

При увеличении давления воздуха эластичное колесо растягивается, что приводит к изменению частоты его собственных колебаний. *Подобное явление наблюдается у струны при ее натяжении.*

Рассмотрим физический смысл величины V_o. Из графика зависимости V_o от P_W имеем:

$$\mathrm{V_0} = \mathrm{V_0'} + \chi\mathrm{P_W}. \tag{4}$$

Для рассмотренной шины уравнение (4) принимает вид:

$$\mathrm{V_0} = 41{,}5 + 3{,}2\cdot10^{-5}\cdot\mathrm{P_W}. \tag{5}$$

Построим график зависимости $V_o = f(P_W)$.

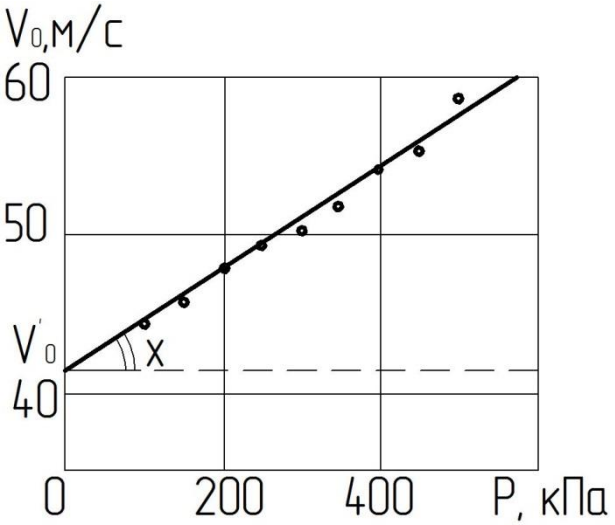


Рис. 3. Зависимость скорости от давления воздуха в шине

Очевидно, что с увеличением давления воздуха P_W в шине возрастает упругая сила. При $P \to 0$ величина $V_0 \to 41{,}5$ м/с.

В предельном случае (*виртуальном*) резина не растянута, потому что давление воздуха в ее середине равно внешнему давлению. Величина V_o зависит лишь от упругих свойств самой шины.

Заметим, что параметр P_W показывает величину преобладания давления воздуха внутри шины над давлением окружающего воздуха. Выражение $P_W = 0$ означает, что резина уже не будет растянута и ее упругие свойства будут соответствовать свойствам недеформированного упругого эластичного вещества из которого изготовлена покрышка.

Вероятно, величина V_o связана с наличием упругих волн в шине. Распространение возмущений в шине происходит согласно известным формулам для распространения *продольных* и *поперечных* волн в упругой среде.

Расчеты показали, что величина $V_0' = 41{,}5\,м/с$ практически совпадает с величиной 40,4 *м/с* (скоростью распространения поперечных волн в резине) и значительно отличается от величины скорости продольных волн (70%). Следовательно, мы имеем дело с *поперечными волнами, возникающими в эластичном колесе при его качении.*

Исследование зависимости коэффициента сопротивления качению показало, что с ростом P_w величина $ln\,k_0$ падает, а зависимость $k_0 = f(P_W)$ является прямолинейной.

$$ln\,k_0 = ln\,k_0^1 - æ_1 P_W\,, \tag{6}$$

где æ соответствует величине тангенса угла наклона прямой, изображенной на графике.

При $P_W \to 0$ величина $ln\,k_0 \to ln\,k_0^1$ или $k_0 \to k_0^1$.

Из (6) получаем:

$$ln\left(\frac{k_0}{k_0^1}\right) = -æ_1 P_w \quad \text{или} \quad k_0 = k_0^1 e^{-æ_1 P_w} \tag{7}$$

Параметр k_0^1 определяет значение коэффициента сопротивления качению без влияния давления. При $P_W = 0$ эластичная шина имеет собственную упругость в нерастянутом воздухом состоянии.

При $P_W \neq 0$ рассматривается упругость шины, растянутой с помощью сжатого воздуха. Чем больше давление P_W, тем меньше проседание колеса под действием силы веса и тем меньше затраты энергии на деформацию шины. Следует отметить, что при движении колеса автомобиля давление воздуха при установившемся движении остается практически постоянным. Следовательно, практически затратой энергии на сжатие воздуха можно пренебречь. Конечно, с появлением кочек объем шины ничтожно уменьшается адиабатически и через несколько минут снова увеличивается до прежней величины. Происходит мгновенное нагревание и охлаждение воздуха. За это время резина не успевает заметно изменить свою температуру.

Легко показать, что полученные из экспериментальных значений выражения (2) и (7) являются решениями дифференциального уравнения для описания коэффициента сопротивления качению эластичной шины [3].

Рассмотрим дифференциальное уравнение для зависимости $k = f\left(P_W\right)$ при *V=const.* Изменение коэффициента k_0 на величину dk_0 при увеличении давления в шине в интервале $\left(P_W, P_W + dP_W\right)$ видимо, зависит от dP_W и k_0

$$dk_0 = -æ_1 k_0 dP_W \tag{8}$$

Здесь знак «*минус*» отражает факт уменьшения k_0 с ростом P_W; æ$_1$ – коэффициент пропорциональности для данного процесса. После деления обеих частей на k_0 получаем следующее выражение:

$$\frac{dk_0}{k_0} = -æ_1 dP_W \tag{9}$$

Это дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными.

Выполним интегрирование уравнения (9).

$$\int_{k_0^1}^{k_0} \frac{dk_0}{k_0} = -æ_1 \int_0^{P_W} dP_W \tag{10}$$

$$ln\left(\frac{k_0}{k_0^1}\right) = -æ_1 P_W = -\frac{P_W}{P_W^*} \tag{11}$$

Здесь æ$_1\left(\frac{1}{Па}\right)$ заменена на $P_W^* = \frac{1}{æ_1}(Па)$ для удобства рассмотрения физики процессов.

Таким образом,

$$k_0 = k_0^1 e^{-æ_1 P_W} = k_0^1 e^{\frac{-P_W}{P_W^*}}. \tag{12}$$

Выражение (12) является, очевидно, *решением* дифференциального уравнения (8) и одновременно совпадает с видом *эмпирической* зависимости.

Таким образом, имеются две зависимости:

$$k = k_0 e^{\frac{V}{V_0}}; \qquad k_0 = k_0^1 e^{\frac{-P_W}{P_W^*}}.$$

Подставим значение k_0 в первую зависимость:

$$k = k_0^1 e^{\frac{-P_W}{P_W^*}} \cdot e^{\frac{V}{V_0}}. \tag{13}$$

Выражение (13) обобщает зависимость $k = f(P_W, V)$. Действительно, при $P_W = const$ получается зависимость $k = f(V)$, а при $V = const$ зависимость $k = f(P_W)$. В этих крайних случаях параметры V_0 и P_W являются постоянными.

Следует отметить, что при выполнении указанной зависимости (13) *необходимо* использовать зависимость V_0 от P_W.

Таким образом, с помощью зависимости (13) можно оценивать потери энергии на качение эластичных колес автомобиля.

В работе [6] предлагается методика оценки потерь энергии, затрачиваемой при качении эластичного колеса. Исследования затрат энергии дали интересные результаты. Основные из них следующие:

– получена формула для оценки затрат энергии на деформацию эластичной шины при ее качении в установившемся режиме по горизонтальному и сухому асфальтобетону;

– проведены эксперименты по изучению затрат энергии на деформацию растянутой воздухом шины марки 185/55R15 легкового автомобиля Chevrole Aveo;

– установлено, что затраты энергии легкового автомобиля на деформацию шины значительны и, например, при скорости движения 30–60км/ч по сухому асфальтобетону могут составлять (60–70)% от общих затрат энергии на качение при коэффициенте сопротивления качению k = (0,015–0,018) .

Цель статьи

Для характеристики автомобиля, очевидно, большой интерес представляет сумма мощности, затраченной на преодоление сопротивления качению N_f и аэродинамического сопротивления N_V . Она представляет собой мощность сопротивления *равномерному движению* автомобиля по *горизонтальному участку* дороги при безветрии. Величину N_f можно оценить с помощью наших зависимостей (13).

Основная часть

Анализ литературных данных показал, что частично выяснена физика процессов, объясняющих экспериментальные зависимости коэффициентов сопротивления качению колеса автомобиля от скорости его движения. Параметр k_0 в полученных зависимостях характеризует затраты энергии на деформацию шины, а параметр $e^{\frac{V}{V_0}}$ характеризует затраты энергии с изменением скорости движения V и скорости распространения упругих поперечных волн в колесе V_o. Рост

k с увеличением скорости *V* определяется затратами энергии на деформацию шины при наличии ее «*проседания*».

В связи с тем, что *потери мощности на качение шин* намного меньше, чем потери на сопротивление воздуха, то в настоящее время, как правило, его учитывают *приблизительно*.

Оценки потерь мощности N_k на качение шин.

Рассмотрим методику на примере конкретного автомобиля *Chevrolet Aveo*, седан, 2006 г. Из рис. 4 следует, что коэффициент аэродинамического сопротивления автомобиля может быть оценен как C_x = 0,3.



Рис. 3. Зависимость среднего значения C_x от года выпуска автомобиля (рассматривались только серийные модели) [10]

В статье [11] исследовали *взаимосвязь* между числом *Рейнольдса* и *коэффициентом* лобового сопротивления на основе серии экспериментов с различными моделями в аэродинамической трубе. Сравним результаты исследований аэродинамических свойств моделей, похожих на наш автомобиль.

Как видно из рис. 4, наш автомобиль *Chevrolet Aveo* (*седан, 2006 г.*) и модель 1 (*седан*) хорошо соответствуют по своей форме. Модель 3 (седан) имеет немного более удлиненный капот, чем наш автомобиль. Но форма модели 3 незначительно отличается от нашего автомобиля.

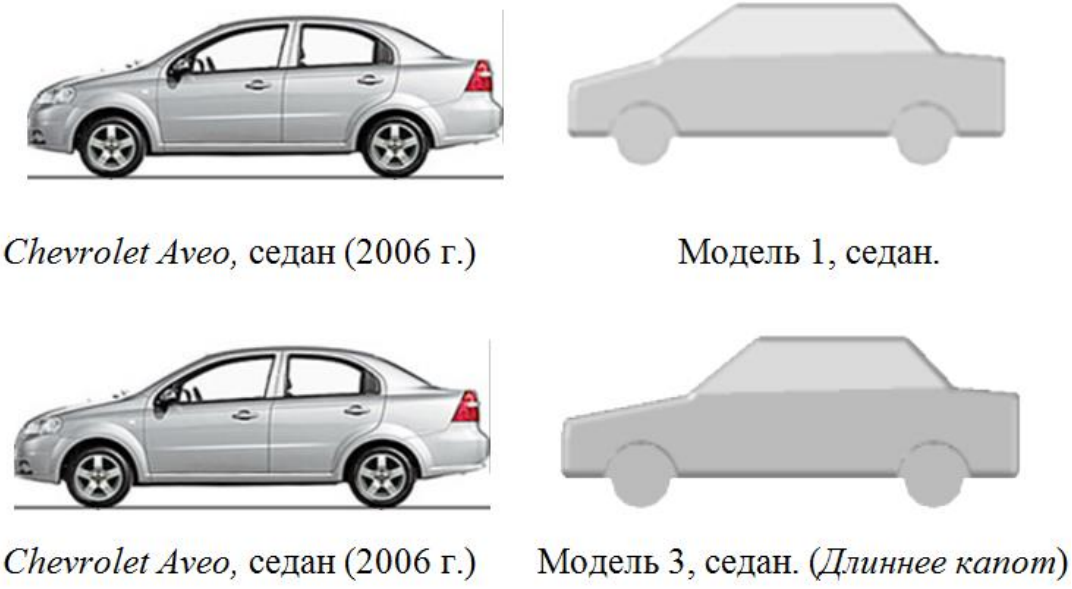
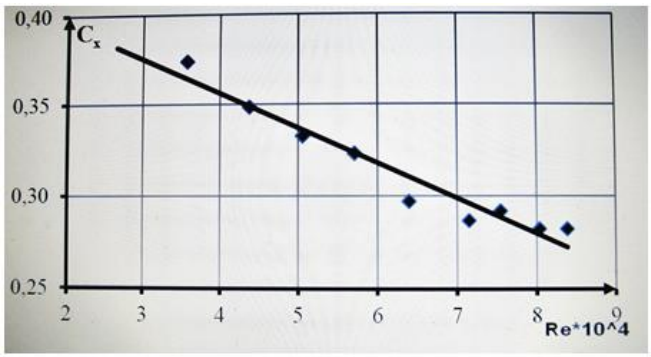
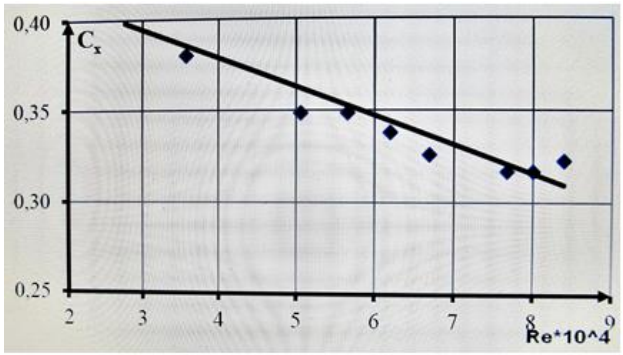


Рис.4. Сравнение формы автомобиля *Chevrolet Aveo* и испытуемых в аэродинамической трубе моделей



Модель 1, седан



Модель 3, седан

Рис. 5. Зависимости C_x от числа Рейнольдса *Re* для двух моделей [11].

Из рис. 5 видно, что значение C_x для *Chevrolet Aveo* оценивается величиной 0,3, а число Рейнольдса для двух похожих моделей $\mathrm{Re} = 7 - 8 * 10^4$. Число 7 более точное, так как обдуваемая модель по форме более подходящая. Движение автомобиля можно считать турбулентным.

Сила аэродинамического сопротивления F_c определяется по формуле:

$$F_c = \frac{1}{2} C_x \rho S V^2 , \qquad (14)$$

где C_x = 0,3 – безразмерный коэффициент аэродинамического (лобового) сопротивления;

ρ – плотность воздуха (1,23 *кг/м*^{3}), S =2*м*^{2}– площадь поперечной проекции. Известно, что при постоянной скорости сила тяги равна силе сопротивления. Затраченная мощность $N_c = A/t = \frac{F_c S}{t} = F_c V$.

Как видно, зависимость (13) k от скорости движения автомобиля не линейная, а экспоненциальная. Сила сопротивления качения $F_к = k\,mg$. Следует отметить, что экспонента не стремится к нулю при падении скорости автомобиля, как это предполагалось ранее. Для шины легкового автомобиля при рекомендуемом давлении сжатого воздуха 210 *кПа* скорость поперечных волн, например, равна $\mathrm{V_0} = 41{,}5 + 3{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot \mathrm{P_W}$. С падением давления воздуха в шине (при $\mathrm{P_w} \to 0$) величина поперечных волн в растянутой резине стремится к 41,5 *м/с* – к величине скорости поперечных волн в недеформированной резине.

В таблице 1 приведены сведения об энергетических затратах автомобиля. Эти результаты представлены на рис. 6 – 10.

Таблица 1

Зависимость мощности от скорости для легкового автомобиля

Скорость, V *(км/ч) / м/с*	0	25 / 6,94	50 / 13,89	75 / 20,83	100 / 27,78	125 / 34,72	150 / 41,67	175 / 48,61
Коэф. сопр.кач., k		0,014	0,0162	0,0187	0,0217	0,0251	0,0292	0,0334
Мощность, Nc *(л.с.) / Вт*	0	0,18 / 123,4	1,34 / 988,85	4,53 / 3335	10,75 / 7911	20,98 / 15444	36,27 / 26699	57,58 / 42384
Мощность, Nk *(л.с.) / Вт*	0	1,55 / 1143,8	3,60 / 2649	6,23 / 4585,4	9,65 / 7096,5	13,95 / 10259	19,48 / 14324	25,99 / 18113
Сила, Fкач. (Н); $Fк = k \cdot mg$		164,8	190,7	220,1	255,4	295,5	343,7	393,2
Сила, Fсоп. (Н); $Fc = \frac{1}{2} Cx \rho S V^2$	0	17,777	71,192	160,105	284,77	444,82	640,73	871,92

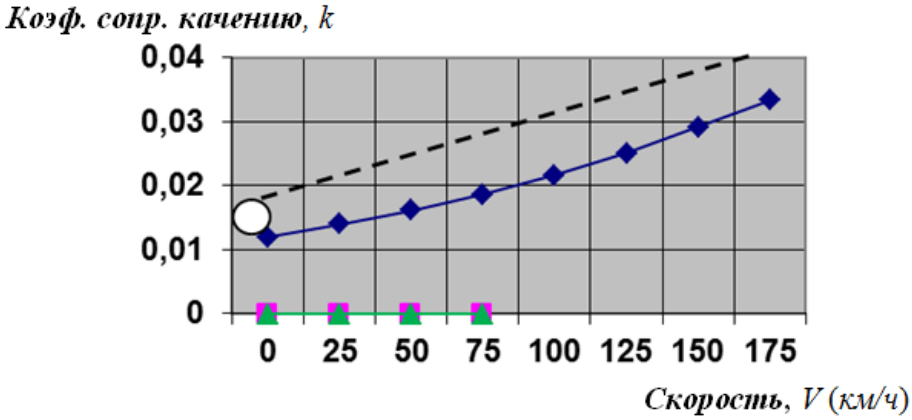


Рис.6. Зависимость *k* от скорости

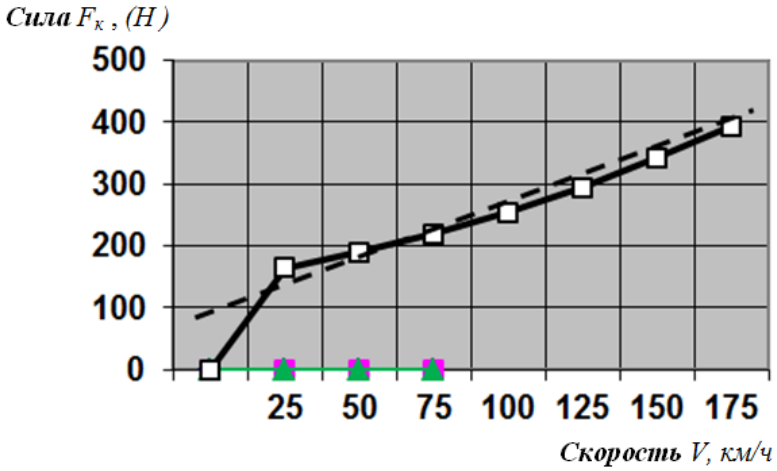


Рис.7. Зависимость силы Fк от скорости автомобиля

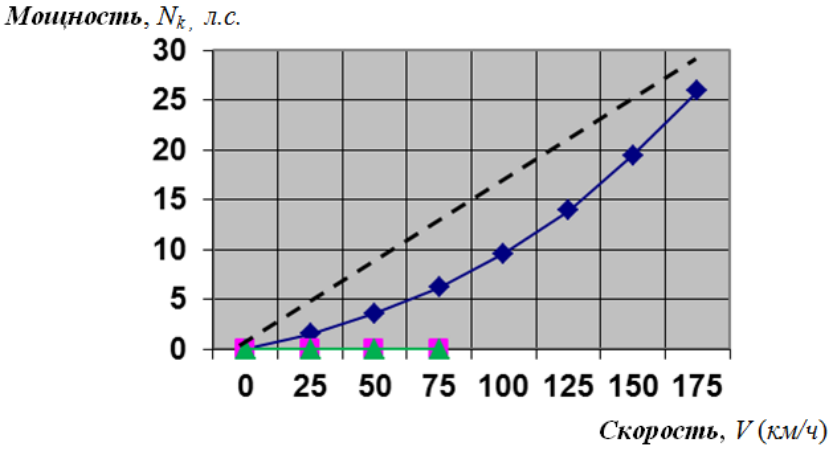


Рис.8. Зависимость мощности, необходимой для преодоления силы сопротивления качению четырех колес автомобиля
$N_k = k\ mg\ V$, *(m =1200 кг).*

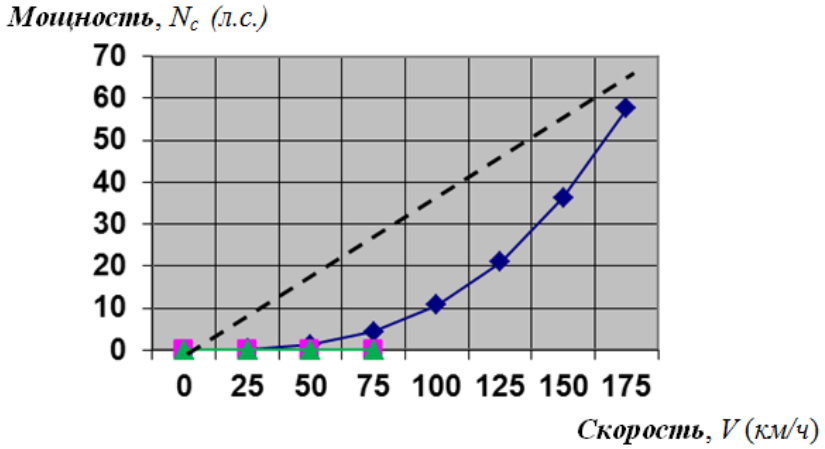


Рис.9. Аэродинамические потери мощности автомобиля

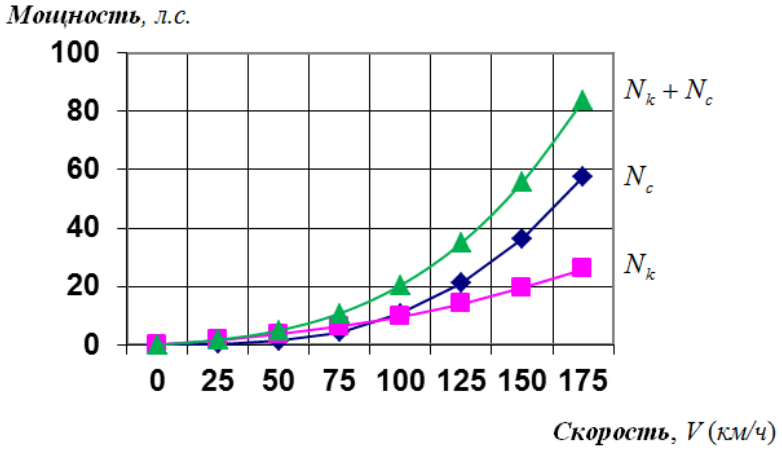


Рис. 10. Потери мощности автомобиля N_k , N_c и (N_k + N_c)

Выводы

Проведены оценки потерь мощности автомобиля *Chevrolet Aveo*: N_k , N_c и (N_k + N_c).

Величиной N_k невозможно пренебрегать по сравнению с N_c. Потери энергии на преодоление сопротивления качению колес значительны.

Список литературы

1. Сунцов Н.В., Макаров В.А., Сунцов А.Н., Ефименко А.Н. О физике процессов, определяющих величину коэффициента сопротивления качению колеса автомобиля // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2011. – № 2. – С. 78-81.

2. Сунцов Н.В., Сунцов А.Н., Макаров В.А., Шамота В.П., Ефименко А.Н. К оценке величины коэффициента сопротивления качению колеса автомобиля // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2010. – № 2. – С. 75-79.

3. Сунцов Н.В., Макаров В.А., Сунцов А.Н., Ефименко А.Н. Дифференциальные уравнения для коэффициента сопротивления качению колеса автомобиля и их решение // Вісник ДААТ. – 2011. – №4. – С. 83-89.

4. Долматовский Ю.А. Автомобиль в движении. – М.: Транспорт, 1987. – 160 с.

5. Сунцов А.Н. О механизме возникновения шумов от поперечных колебаний при качении эластичной шины // Вісник ДААТ. – 2013. – №2. – С. 70-74.

6. Сунцов Н.В., Писанец А.А., Лазаренко А.И., Зайцев Р.С., Мельниченко В.В., Мезенцев С.Г. Оценка затрат энергии на деформацию растянутой воздухом шины во время движения автомобиля // Вісник ДААТ. – 2014. – №2-3. – С. 60-68.

7. Независимое тестирование шин, изготовленных десятью ведущими фирмами производителями //Журнал «Авторевю». – М. – 2012.

8. Воронин В.В., Кондрашов В.Н., Тимаев Д.М. Механические характеристики автомобильных шин // Известия МГТУ «МАМИ», № 2(10), 2010. – С. 20-23.

9. Балабин И.В., Путин В.А., Чабунин И.С. Автомобильные и тракторные колеса и шины. – МГТУ «МАМИ», 2012. – 920 с.

10. Евграфов А. Н. Аэродинамика автомобиля. – М.: МГИУ, 2010.

11. Андрианов Л.В., Мухина М.Л., Чеботаев В.Ф. Исследование аэродинамических характеристик автомобиля в аэродинамической трубе. – НГТУ. – Н. Новгород, 2000. – 19 с.

Сунцов М.В., Сунцов А.М., Стрельник Ю.М. До питання про втрати енергії на кочення еластичних коліс автомобіля

Анотація. *Проведено оцінку енергетичних витрат на подолання опору коченню еластичних коліс автомобіля при його русі по сухому асфальтобетону. Використовується експоненціальна залежність коефіцієнта опору коченню від величини тиску повітря в шині і швидкості руху.*

Ключові слова: *автомобіль, еластична шина, опір коченню*

Suntsov N.V., Suntsov, A.N., Strelnik Y.M. The question of the energy losses due to rolling of elastic wheels of the car

Annotation. *The possibility of using three frames of reference when considering the physics of the processes that create rolling resistance the wheels of the car*

Keywords: *car, elastic tire, rolling resistance*

Стаття надійшла до редакції 15.11.2015 р.

АВТОРИ НОМЕРА

Вербицький Володимир Григорович – Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ
Єфименко Алла Миколаївна – Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ
Жаболенко Марина Володимирівна – Донецька академія автомобільного транспорту
Калінін Олександр Володимирович – Донецька академія автомобільного транспорту
Комов Олександр Борисович – Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка
Комов Петро Борисович – Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка
Лукічов Олександр Володимирович – Донецька академія автомобільного транспорту
Мойся Дмитро Леонідович – Донецька академія автомобільного транспорту
Сакно Ольга Петрівна – Донецька академія автомобільного транспорту
Стрельник Юрій Миколайович – Донецька академія автомобільного транспорту
Сунцов Микола Володимирович – Донецька академія автомобільного транспорту
Сунцов Олексій Миколайович – Донецька академія автомобільного транспорту

ПРАВИЛА ПОДАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Для публікування в журналі «Вісник Донецької академії автомобільного транспорту» приймаються неопубліковані раніше наукові статті в галузях: транспорту і двигунів внутрішнього згоряння; проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг; надійності й довговічності механізмів і машин; транспортних технологій.

У журналі друкуються статті українською, російською (змішаними) мовами.

Для публікації наукової статті в редакцію необхідно представити наступні документи:

– текст статті у 2-х форматах;

– назву статті, анотацію та ключові слова українською, російською та англійською мовами;

– експертний висновок про можливість відкритого публікування;

– завірену рецензію доктора наук або члена редакційної колегії;

– відомості про автора (-ів) (прізвище, ім'я та по батькові повністю, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце та адреса роботи для кожного автора)

– інформація для зв'язку: e-mail, службовий або домашній телефони, поштова адреса (для відправлення авторського екземпляру журналу) одного з авторів.

Вимоги до рукописів

Стаття подається у 2-х варіантах: у форматі WordforWindows – **.doc** (або **.docx**); та у форматі **.pdf** (сканований документ з нумерацією сторінок та підписом автора).

Обсяг наукової статті 5–10 сторінок тексту, які включають таблиці, ілюстрації (4 рисунки дорівнюються 1 сторінці), перелік літератури. Обзорні статті – до 12 сторінок.

Параметри сторінки: розмір – А4 (210 х 297мм); орієнтація – книжкова; поля: верхнє – 15мм, нижнє – 25мм, ліве – 25мм, праве –15мм.

Весь текст повинен бути набраний стилем «Звичайний» (Normal), тип шрифта – TimesNewRoman.

Структура статті

Код УДК (універсальний десятинний класифікатор)	Шрифт: 12пт, напівжирний курсив Абзац: вирівнювання – по лівому краю, міжрядковий інтервал – одинарний
Пустий рядок	Шрифт: 12пт, Абзац: міжрядковий інтервал – одинарний
Прізвище (-ща) та ініціали автора (-ів), науковий ступінь, вчене звання Повна назва організації	Шрифт: 11пт, напівжирний курсив Абзац: вирівнювання – по центру сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний
Пустий рядок	
НАЗВА СТАТТІ	Шрифт: 14пт, напівжирний,всі букви строчні Абзац: вирівнювання – по центру сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний
Пустий рядок	
Анотація мовою оригіналу статті(не більш 80 слів, ширина рядка 130 мм) *Ключові слова:*	Шрифт: 11пт, курсив Абзац: вирівнювання – по центру сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний, відступ ліворуч – 20мм, та праворуч – 20мм.
Пустий рядок	
Основний текст статті Текст рукопису повинен містити такі розділи, як:	Шрифт: 12пт, звичайний Абзац: вирівнювання – по ширині сторінки, міжрядковий інтервал – множитель 1,1пт, відступ першо-

Постановка проблеми де відображається історія предмету дослідження, актуальність та сучасний стан проблеми; **Аналіз останніх досліджень** на які спирається автор, виділення невирішених раніше аспектів загальної проблеми, яким присвячується означена стаття; **Мета статті** (постановка задачі); **Основний розділ** (можливі підрозділи); **Висновки** де стисло та чітко підсумовуються основні результати, що були одержані автором (-ами).	го рядка – 7,5мм. Назви розділів напівжирним шрифтом без крапки наприкінці. Таблиці повинні мати тематичні назви та порядкові номера (без знаку №), на які даються посилання у тексті. Рисунки та графіки повинні бути пронумеровані в порядку посилання у тексті. Кожний рисунок розміщується в окремому файлі (формати **.bmp, .jpg, .tiff**). Кольорові та фонові рисунки не приймаються. Перелік рисунків з номерами та підписами рисунків пишуться в окремому документі. Усі формули повинні бути набрані у редакторі формул MicrosoftEquation 2.0, 3.0 (MathType). При виборі одиниць виміру слід дотримуватись системи СІ. Ціла частина числа від десятичної відділяється комою. Нумерація формул дається арабськими цифрами в круглих дужках праворуч. Посилання на джерела беруться у квадратні дужки.
Пустий рядок	
Список літератури **1. який виконується згідно ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання» та в порядку посилання.**	Назва розділа – шрифт: 12пт, напівжирний. Текст списка: Шрифт: 11пт, курсив; Абзац: вирівнювання – по ширині сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний, відступ першого рядка – 7,5мм.
Пустий рядок	
Ф.И.О. авторов. Название статьи на альтернативном языке (П.І.Б. авторів. Назва статті на альтернативній мові) ***Анотация (Анотація).*** *Анотація на альтернативній мові (російська, якщо стаття на українській мові; або українська, якщо стаття на російській мові.* ***Ключевые слова (Ключові слова):*** *на альтернативній мові*	Шрифт: 12пт, курсив Абзац: вирівнювання –по ширині сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний, відступ першого рядка – 7,5мм
Пустий рядок	
П.І.Б. авторів. Назва статті на англійській мові ***Abstract.*** *Переклад анотації на англійську мову.* ***Keywords:*** *Переклад ключових слів на англійську мову*	Шрифт: 12пт, курсив Абзац: вирівнювання –по ширині сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний, відступ першого рядка – 7,5мм

Статті, що не відповідають вимогам, повертаються авторам для доопрацювання.

Після прийняття редколегією рішення про допуск статті до публікації відповідальний секретар інформує про це автора й указує строки публікації, розмір плати за публікацію статті та банківські реквізити Академії.

ПОРЯДОК РЕЦЕНЗУВАННЯ СТАТЕЙ

1. Наукові статті, що надійшли до редакції, проходять через інститут рецензування.

2. Форми рецензування статей:

– зовнішня (рецензування рукописів статей доктором або кандидатом наук, який є провідним спеціалістом у відповідній галузі науки);

– внутрішня (рецензування рукописів статей членами редакційної колегії).

3. У зовнішній рецензії повинні бути висвітлені наступні питання:

– чи відповідає зміст статті заявленій в назві темі;

– наскільки стаття відповідає сучасним досягненням у зазначеній галузі;

– чи доступна стаття читачам, на яких вона розрахована, з погляду мови, стилю, розташування матеріалу, наочності таблиць, діаграм, малюнків та ін.;

– чи доцільна публікація статті з урахуванням раніше випущеної по даному питанню літератури;

– у чому конкретно полягають позитивні сторони, а також недоліки статті, які виправлення й доповнення повинні бути внесені автором;

– висновок про можливість опублікування даного рукопису в журналі: «рекомендується», «рекомендується з урахуванням виправлення відзначених рецензентом недоліків» або «не рекомендується».

4. Зовнішня рецензії засвідчуються в порядку, установленому в установі, де працює рецензент. Рецензія повинна бути підписана рецензентом з розшифровкою посади, наукового ступеня і вченого звання.

5. Відповідальний секретар протягом 7 днів повідомляє авторів про одержання статті.

6. Відповідальний секретар визначає відповідність статті профілю журналу, вимогам до оформлення й направляє її на внутрішнє рецензування члену редакційної колегії, що має найбільш близьку до теми статті наукову спеціалізацію.

7. Строки рецензування в кожному окремому випадку визначаються відповідальним секретарем з урахуванням створення умов для максимально оперативної публікації статті.

8. Внутрішня рецензія виконується членами редакційної колегії журналу у відповідності з наказом ректора Академії від 11.10.2010р. №153-01 «Про затвердження Положення про порядок випуску наукового фахового видання Вісник Донецької академії автомобільного транспорту».

Рецензент коментує якість рукопису за такими пунктами, як:

– наукова новизна,

– обґрунтованість результатів,

– значимість результатів,

– ясність викладання,

– якість оформлення;

виставляє по кожному пункту параметричну оцінку від 0 до 5. В залежності від суми балів приймається рішення про доцільність публікації, про необхідність доопрацювання рукопису, або про недоцільність публікації.

Рецензія повинна бути підписана рецензентом з розшифровкою посади, наукового ступеня і вченого звання.

9. У випадку відхилення статті від публікації редакція направляє авторові мотивовану відмову.

10. Наявність позитивної рецензії не є достатньою підставою для публікації статті. Остаточне рішення про доцільність публікації ухвалюється вченою радою Академії.

11. Оригінали рецензій зберігаються в редакції наукового журналу «Вісник Донецької академії автомобільного транспорту».