

ISSN 2709-5622

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ:

конструирование, эксплуатация, технологии

Сборник научных статей

Основан в 2018 году

Выпуск 4

Минск
БНТУ
2022

УДК [656+625](082)
ББК 39я43
Т65

Адрес редакции: 220013, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12
Тел.: +375173310548 **E-mail:** d.kapsky@bntu.by; d.kapsky@gmail.com
Web: avto_traktor_bud@bntu.by

При цитировании материалов сборника ссылка обязательна. Перепечатка материалов допускается только по согласованию с редакцией и авторами.

Статьи данного выпуска содержат материалы теоретических и экспериментальных исследований автомобилей, тракторов и их двигателей. Рассматриваются вопросы эксплуатации и ремонта автомобильной техники, безопасности дорожного движения. Значительное место уделяется методике подготовки специалистов в сфере транспорта.

Сборник рассчитан на инженерно-технических работников заводов и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей и аспирантов УВО.

Сборник включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам

Публикуемые материалы рецензируются

УЧРЕДИТЕЛЬ: БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – **Сергей Васильевич Харитончик.**

Зам. главного редактора – Д. В. Капский (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).

Технический секретарь – С. В. Богданович (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Л. Аартс (Институт исследований безопасности дорожного движения, Гаага, Нидерланды),

Б. Бекер (Дрезденский Институт автомобильных технологий, Дрезден, Германия),

В. П. Бойков (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

В. Ванцевич (Алабамский университет в Бермингеме, Бермингем, США),

С. Гаца (Краковская политехника, Краков, Польша),

В. В. Гаевский (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация),

А. К. Головнич (Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь),

В. Иванов (Технический университет, Ильменау, Германия),

Р. Б. Ивуть, (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

И. В. Кабашкин (Институт транспорта и связи, Рига, Латвия),

В. А. Коробкин (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

Г. М. Кухаренок (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

А. Лаврешин (Лундский университет, Лунд, Швеция),

О. Н. Ларин (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация),

А. О. Лобаиов (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

Э. Морис (университет Лафборо, Лафборо, Великобритания),

П. Л. Мариев (ГНУ «Объединенный институт машиностроения. Минск, Республика Беларусь),

П. А. Пегин (Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, Российская Федерация),

Л. Персия (Римский институт Ла Сапиенца, Рим, Италия),

В. П. Полищук (Национальный транспортный университет, Киев, Украина),

И. Н. Пугачев (Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация),

А. И. Рябчинский (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация),

И. С. Сазонов (Белорусско-российский университет, Могилев, Республика Беларусь),

А. В. Сараев (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, Украина),

А. Т. Скойбеда, (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

Л. Цъевек (ООО «Knorr-Bremse», Будапешт, Венгрия),

М. Хириц (Грацский технический университет, Грац, Австрия),

А. В. Шмелев (ГНУ «Объединенный институт машиностроения». Минск, Республика Беларусь),

А. Г. Шумилин (Национальная академия наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь),

Д. Яннис (Национальный технический университет Афин, Афины, Греция).

СОДЕРЖАНИЕ

<i>СЕРЕБРЯКОВ И. А., МИРИЛЕНКО А. П.</i> Анализ эффективности метода оптимизации алгоритмов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей.....	6
<i>ГУРСКИЙ А. С.</i> Анализ параметров высоковольтных аккумуляторных батарей электробусов с целью создания алгоритмов их общего и поэлементного диагностирования с применением телематических систем.....	12
<i>ГОНЧАРОВА Е. А., БОЙКОВ В. П.</i> Этапы перехода к беспилотным автомобилям.....	20
<i>ИОВЛЕВА Е. Л., ФИЛИППОВА Н. А., КУРЕНКОВ П. В., ВАКУЛЕНКО С. П.</i> Внедрение умного светофора как фактора безопасности движения на улицах г. Якутска.....	27
<i>ГУРСКИЙ А. С., СЕДЯКО П. В.</i> Реверс-инжиниринг протоколов обмена шин данных электронных блоков управления.....	36
<i>ЧИКИШЕВ Е. М.</i> Влияние фактических условий эксплуатации на расход топлива автобуса малой вместимости.....	44
<i>САРАЖИНСКИЙ Д. С.</i> Аналитико-алгоритмический метод прогнозирования распределения транспортного спроса (на регулируемом пересечении) по полосам.....	51
<i>ПОВАРЕХО А. С., РАХЛЕЙ А. И.</i> Моделирование процессов в питающей части пневматической системы, оборудованной регулятором давления с торовым элементом.....	58
<i>СЕВРУК В. С.</i> Результаты стендовых испытаний гидравлического тормоза-замедлителя с системой управления производства ОАО МЗКТ.....	66
<i>ЖДАНОВИЧ Ч. И.</i> Математическая модель навесного устройства трактора в составе пахотного агрегата.....	74
<i>СЕВРУК В. С., РУКТЕШЕЛЬ О. С.</i> Анализ схем систем управления тормозами-замедлителями отечественных и зарубежных производителей.....	83
<i>КАПСКИЙ Д. В., БОГДАНОВИЧ С. В.</i> Бионическое развитие транспортных систем городов.....	91
<i>КАПСКИЙ Д. В., БОГДАНОВИЧ С. В., КОТ Е. Н., БУРТЫЛЬ Ю. В.</i> Оценка движения для въездных групп в городах и железнодорожных переездов Казахстана.....	98
<i>ЖИЛЕВИЧ М. И., ЕРМИЛОВ С. В.</i> Методика и результаты стендовых испытаний макета гидравлического модулятора тормозной системы транспортного средства.....	108

<i>MEDVEDEV M. Yu., FARHOOD A. K.</i> The study numerical to detect collisions using neural network with D* algorithm.....	114
<i>МИРЗАЕВ К. С., ОДИЛОВ Ф. У.</i> Способ повышения износостойкости рабочих поверхностей.....	120
<i>БОЙКОВ В. П., ПОПОВ В. Б.</i> Определение управляемости мобильного энергетического средства, агрегатируемого с навесной машиной.....	126
<i>НЕЧАЕВА В. В.</i> Некоторые подходы в выборе критериев при дизайн-проектировании многофункционального колесного шасси.....	133
<i>ГОЛЬДМАН Г. Э., ЯКУБОВИЧ С. П.</i> Основные направления совершенствования транспортного обслуживания сельского населения.....	140
<i>БЫСТРЕНКОВ О. С.</i> Исследование путей улучшения пусковых качеств газодизельного двигателя.....	147
<i>КЛОКОВ Д. В., ЛЕОНОВ Е. А., ГАРАБАЖИУ А. А., ЛЕШКЕВИЧ А. Ю.</i> Оценка эксплуатационных свойств прицепного форвардера «Беларус» по показателям маневренности и проходимости.....	153
<i>КАРАСЁВА М. Г.</i> Прогнозирование выбора пассажирами маршрута городской поездки с использованием средств персональной мобильности.....	158

СЕРЕБРЯКОВ И. А.,
старший преподаватель¹
E-mail: serabakovtea@bntu.by

МИРИЛЕНКО А. П., канд. техн. наук, доц.,
доцент²
E-mail: Mirilen@bsatu.by

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.05.2022

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В современной практике диагностирования сложных технических устройств, наряду с постоянно развивающимися методами диагностирования и диагностическим оборудованием, актуальным по-прежнему является поиск неисправности, основанный на логических закономерностях. Поиск неисправностей двигателей внутреннего сгорания автомобилей в организациях автомобильного транспорта и автосервиса обычно выполняется с помощью диагностических карт, представляющих собой алгоритмы осуществления диагностических операций (алгоритмы диагностирования). Рассмотрение реальной практики показало, что используемые алгоритмы диагностирования не всегда обладают оптимальной структурой и не ориентированы на получение наименьших трудозатрат. Ранее нами был разработан метод модификации диагностических алгоритмов, направленный на достижение максимальной экономической эффективности и минимальных трудозатрат на диагностирование. Настоящая работа посвящена сравнительному анализу модифицированных разработанным методом диагностических алгоритмов и существующих реальных диагностических карт. Анализ проведен с помощью специально разработанного способа виртуального эксперимента, основанного на методе Монте-Карло и технологии «бутстрэп». В результате проведенного сравнения показано, что на примере типовых неисправностей автомобилей Лада применение разработанного метода статистически значимо обеспечило снижение трудозатрат на 27 %, что следует также признать экономически значимым.

Ключевые слова: диагностирование двигателей, диагностическая карта, граф, логический алгоритм диагностирования с выбором последующего действия, критерий оценки эффективности диагностирования.

Введение

Большинство современных автомобилей, без которых сложно представить жизнь человека, было оснащено и продолжает оснащаться двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В 2021 году 91 % выпущенных в мире автомобилей имел силовую установку на базе ДВС [1]. В автопарке стран СНГ доля эксплуатируемых автомобилей с ДВС составляет более 99 %. Этим фактом обоснован выбор объекта исследования. Тем не менее, учитывая экспоненциальный рост продаж электромобилей, следует

отметить, что предложенная методика может применяться и для автомобилей, оснащенных электродвигателями.

На протяжении всего срока службы автомобиль подвергается техническому обслуживанию и ремонту. Неотъемлемой составляющей ремонта автомобиля являются операции диагностирования. В данном исследовании рассматривается диагностирование ДВС, которые относятся к сложным техническим устройствам. Для выявления точной причины отказа

двигателя целесообразно придерживаться определенной последовательности действий – алгоритма диагностирования [2].

Анализ существующей практики диагностирования бензиновых двигателей легковых автомобилей на примере марки Lada показал [3], что при разработке документов, регламентирующих порядок технического обслуживания (диагностических карт) не учитываются показатели трудоемкости отдельных элементов алгоритмов диагностирования, в результате чего экономика диагностирования не является достаточно эффективной.

Был разработан метод оптимизации алгоритмов диагностирования двигателей автомобилей, позволяющий минимизировать стоимостные характеристики диагностических карт [4]. В качестве показателя, характеризующего эффективность карты, в данном исследовании была принята средняя трудоемкость диагностирования (далее – СТД), единицей измерения которой является норма-час (н-ч).

Для формирования полноценного заключения о перспективах применения и результативности разработанного метода следует провести сравнительный анализ его эффективности.

Способы сравнительного анализа эффективности диагностических алгоритмов

В соответствии с изложенным пониманием эффективности, сравнение диагностических карт должно оценивать различия в эмпирических величинах средней трудоемкости диагностики. При этом частоты наблюдений различных неисправностей должны соответствовать их реальным вероятностям. Цель сравнительного анализа эффективности разработанного метода оптимизации может достигаться разными способами, сопряженными с различными временными и трудовыми затратами. Анализ публикаций [5, 6, 7] по данной проблематике показал, что существует 3 основных подхода, существенно различающихся методологически.

1. Прямой математический способ. Данный подход предполагает теоретический расчет математического ожидания стоимости диагностирования по конкретному алгоритму в соответствии с эмпирически полученными значениями весов для вероятностей отказов. Такая методология соответствует минимальной трудоемкости, но в то же время недостаточно учитывает вариабельность реальных данных и, в конечном счете, принципиально не позволяет оценить статистическую значимость различий. Можно сделать вывод, что такой способ проверки недостаточно объективен.

2. Натурный эксперимент. Данный способ сравнения предполагает внедрение разработанного метода в практику предприятий автосервиса. Его практическая реализация включает измерение трудозатрат выполнения операций диагностирования и создание соответствующей базы данных. Причем каждый новый поступивший заказ должен случайным образом распределяться по исследуемому и контрольному алгоритмам диагностики. После набора необходимого для достижения заданной мощности эксперимента объема данных производится оценка средней стоимости диагностирования в каждой из групп и статистической значимости их различий. Этот способ сопряжен с рядом практических препятствий. Во-первых, он требует существенных временных затрат, ведь необходимо будет наработать статистически значимый массив данных по каждому событию (диагностическому исходу), учитывая ширину возможного диапазона отказов. Во-вторых, значительное влияние будет иметь человеческий фактор. Один и тот же слесарь-диагност на диагностирование одной и той же неисправности может затратить различное время, т. к. в конкретный момент времени его эмоциональное, физическое и психическое состояние будут оказывать существенное влияние на процесс диагностики. В связи с вышеперечисленным, натурный эксперимент представляется крайне затруднительным и малореальным в исполнении.

3. Виртуальный эксперимент. В этом случае осуществляется эмуляция реальных процессов с помощью математических методов. Поскольку в нашем случае распределение отказов двигателей внутреннего сгорания имеет стохастический характер, его моделирование может основываться на т. н. методе Монте-Карло [8], предполагающем многократную генерацию виртуальных случаев наблюдения и дальнейшую оценку генеральной совокупности по полученному массиву данных. Подробнее реализация метода в данном исследовании будет описана далее. Данный способ будет являться объективным, в то же время он будет сопряжен с невысокими затратами на реализацию и отсутствием влияния человеческого фактора.

Анализ рассмотренных подходов показывает, что наиболее осуществимым и в то же время достаточно объективным в нашем случае будет являться виртуальный эксперимент. Далее будет рассмотрена его практическая реализация.

Пошаговая схема виртуального эксперимента сравнительной оценки эффективности

алгоритмов диагностирования показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурное преобразование алгоритма диагностирования

На первом шаге была получена статистика отказов, на основе которых формировалась таблица относительных вероятностей исходов. Для этого были проанализированы отказы электронной системы управления двигателем автомобилей Lada Vesta, Lada XRay, Lada Largus, оснащенных одинаковыми двигателями ВАЗ 21129 и одинаковой электронной системой управления соответственно. С этой целью было обработано 513 заказ-нарядов на диагностирование вышеупомянутых автомобилей. Полученные результаты были сопоставлены с общеизвестной практикой [9]. По результатам сопоставления была подтверждена адекватность структуры множества отказов.

В исследование были включены следующие разделы неисправностей: неисправности системы зажигания, электрической цепи и механической части системы топливоподачи; общее диагностирование запуска двигателя; неисправности главного реле и силовой цепи.

После анализа информации неисправности были занесены в базу данных вероятностей (шаг 2 на рисунке 2), фрагмент которой продемонстрирован в таблице 1. Таблица 1 включает в себя неисправности электрической цепи системы топливоподачи. На следующем шаге осуществлялся подбор диагностических карт, позволяющих своей полнотой покрыть неисправности из полученной базы данных. Для примера рассмотрим соответствующую неисправностям электрической цепи системы топливоподачи диагностическую карту «А-5. Проверка электрической цепи системы подачи топлива» [10]. Возможные отказы, диагностируемые этой картой, были занесены в таблицу 1, и каждому из них было присвоено удельное значение вероятности. Для удобства анализа, суммарная вероятность неисправностей в таблице приведена к 100 %, однако следует понимать, что в общем списке рассматриваемых неисправностей ее вероятность будет умножаться на вероятность наличия неисправности по соответствующей карте. Таблица содержит в себе следующую информацию: наименование диагностического исхода, которое в диагностической карте формулируется в виде действия, которое необходимо совершить для устранения той или иной неисправности, и соответствующий этой конкретной неисправности уникальный идентификатор. Также таблица включает столбец с количеством наблюдаемых случаев каждой неисправности, и удельной вероятностью каждого случая.

На основе полученного статистического распределения, согласно разработанному методу, оптимизируются алгоритмы диагностирования [4].

На следующем шаге осуществлялась генерация виртуальной выборки неисправностей методом Монте-Карло. Была получена рандомизированная выборка диагностических случаев в соответствии с изначально заданным вероятностным распределением, фрагмент которой представлен в таблице 2. В базе данных виртуального эксперимента, помимо текстового описания, каждая неисправность имеет свой уникальный идентификатор, который отражен в таблице. Для наибольшей реалистичности, каждый случай записан или в контрольную группу, соответствующую стандартному алгоритму поиска неисправности, или в исследуемую, соответствующую оптимизированному алгоритму.

Таблица 1 – Фрагмент базы данных распределения неисправностей

№ п/п	Наименование диагностического исхода	ID неисправ.	Кол-во наблюд.	Вероятность неисправ., %
1	Устранить неисправность эл. цепи питания электробензонасоса	504	4	5,48
2	Устранить неисправность эл. цепи массы электробензонасоса	506	3	4,11
3	Заменить электробензонасос	507	18	24,66
4	Заменить предохранитель электробензонасоса	510	11	15,07
5	Устранить неисправность эл. цепи питания реле электробензонасоса	511	5	6,85
6	Неисправен ЭБУ. Заменить	514	1	1,37
7	Устранить неисправность эл. цепи управления от реле электробензонасоса до ЭБУ	515	3	4,11
8	Заменить реле электробензонасоса.	517	28	38,36
		Итого	73	100,00

Таблица 2 – Фрагмент базы данных виртуального эксперимента

№ п/п	Наименование неисправности	ID неисправ.	Группа	Трудоемкость выявления, н-ч
1	Негерметичность соединений топливопроводов	615	контр.	0,31
2	Неисправна катушка зажигания	356	иссл.	0,06
3	Неисправность цепи питания ЭБН	504	контр	0,22
4	Неисправно реле электробензонасоса	517	контр	0,04
5	Неисправно главное реле	346	иссл.	0,26
6	Неисправен датчик температуры	1109	контр	0,14
7	Неисправен электробензонасос	507	иссл.	0,34

Поскольку при выявлении неисправности диагност проходит определенный путь по алгоритму диагностирования, в виртуальном эксперименте каждой неисправности была присвоена соответствующая трудоемкость, соответствующую реальной величине, выраженную в нормо-часах.

В контрольной и исследуемой группе трудоемкости выявления одних и тех же неисправностей различаются, поскольку достигаются разными путями.

Таким образом были получены 2 массива трудоемкостей: для контрольной и исследуемой групп. Средняя величина стоимости для каждой группы, полученная таким образом, и будет являться экспериментально полученной STD соответствующей группы. Таблица 2 отражает небольшой фрагмент виртуального эксперимента, для проведения которого было сгенерировано 267 виртуальных случаев обращения на СТО, которые в соответствии с рандомизацией распределились следующим образом: 139 случаев попали в исследуемую группу, 128 в контрольную группу. По результатам исследования установлено, что средняя стоимость диагностирования по алгоритмам, оптимизированным с использованием разработанного методу составила 0,191 (95 % ДИ 0,16-0,22) н-ч в то время как стоимость в контрольной группе по

стандартному методу – 0,264 (95 % ДИ 0,24-0,28) н-ч, различия статистически значимы ($p < 0,001$). На рисунке 2 визуализированы данные виртуального эксперимента с использованием программы Statistica. Показаны гистограммы распределения трудоемкости отдельных операций в исследуемой и контрольной группах, и соответствующие функции для нормального распределения со средними величинами дисперсии, равными эмпирическим.

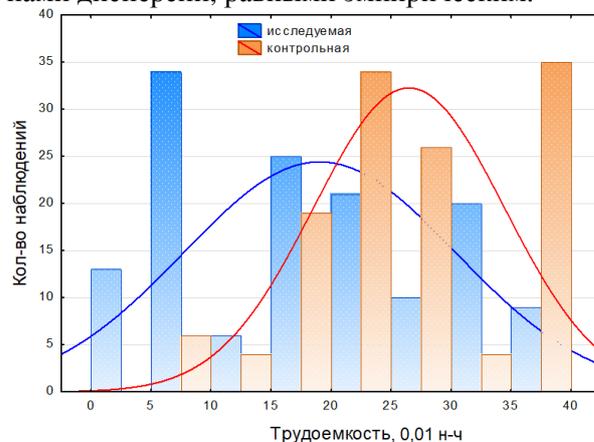


Рисунок 2 – Гистограммы распределения трудоемкости отдельных операций в исследуемой и контрольной группах

Хорошо видно, что средняя величина трудоемкости в исследуемой группе значительно

ниже. Можно обратить внимание на то, что кроме различий в средних величинах наблюдается также значительная разница в форме распределения. В частности, в исследуемой группе мода сдвинута к малым значениям трудоемкости, а в контрольной наоборот – к максимальным значениям. Такое явление можно объяснить следующими предположениями: исследуемая группа соответствует оптимизированному алгоритму, следовательно, распределение трудоемкости соответствует объективно существующим соотношениям в реальности. В то же время в контрольной группе многие исходы имеют субъективно увеличенные цепочки операций, в результате чего наблюдается большая доля неисправностей, требующих высокой трудоемкости при диагностировании.

Заключение

1. Разработан способ оценки эффективности нового метода оптимизации алгоритмов диагностирования, включающий формирование виртуального эксперимента и создание базы данных наблюдений с использованием метода Монте-Карло, обеспечивающего генерирование случаев неисправности в соответствии с эмпирическим распределением вероятности их возникновения.

2. На основе разработанного способа создана рандомизированная база данных наблюдений, включающая 139 случаев обращения в организацию автосервиса и проведения диагностирования с использованием оптимизированных алгоритмов диагностирования, а также 128 случаев обращения, в которых диагностированию осуществлялось стандартными алгоритмами.

3. В результате сравнительного анализа установлено, что применение разработанного метода обеспечивает снижение затрат на диагностирование на 27 %. Средняя стоимость диагностирования по алгоритмам, оптимизированным с использованием разработанного метода составила 0,191 (95 % ДИ 0,16-0,22) н-ч в то время как стоимость в контрольной группе по стандартному методу – 0,264 (95 % ДИ 0,24-0,28) н-ч, различия статистически значимы ($p < 0,001$).

Литература

1. Motorization Rate 2015 – Worldwide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>. – Дата доступа: 17.10.2021.
2. Техническая диагностика. Термины и определения: ГОСТ 20911-89. – Взамен ГОСТ 20911-75; введ. РБ 01.01.91. – Москва: Гос. комитетом по управлению качеством продукции и стандартам, 1989. – 10 с.
3. Серебряков, И. А. Анализ существующих алгоритмов диагностирования силовых установок и их эффективности / И. А. Серебряков // Изобретатель. – 2021. – № 1–2 (242–243). – С. 26–31.
4. Серебряков, И. А. Разработка метода оптимизации алгоритмов диагностирования двигателей автомобилей / И. А. Серебряков // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 331–339.
5. Пархоменко, П. П. Основы технической диагностики / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян. – М.: Энергия, 1981. – Кн. 2. Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства. – 320 с.
6. Дунаев, А. М. Процедура построения оптимального логического алгоритма диагностирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 9. – С. 82–90.
7. Танкович, В. С. Разработка оптимального алгоритма диагностирования дизельного двигателя в условиях автотранспортных предприятий: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.22.10 / В. С. Танкович; Харьковский автомоб.-дорожный ин-т. – Харьков, 1987. – 18 с.
8. Соболев, И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – М.: Наука, 1968. – 64 с.
9. Хлебушкин, И. В. Лада Веста. Итоги ресурсного теста Авторевю / И. В. Хлебушкин // Авторевю. – 2016. – № 22. – С. 47–51.
10. Электронная система управления двигателем 21129 автомобилей семейства Lada Vesta с контроллером М86 ЕВРО-5 – устройство и диагностика [Электронный ресурс] / АО «Автоваз». – Режим доступа: https://zinref.ru/avtomobili/VAZ/001_00_lada_vesta_rukovodstvo/138.htm. – Дата доступа: 30.05.2022.

SEREBRYAKOV Ihar A.,
Senior Lecturer¹
E-mail: serabryakovtea@bntu.by

MIRYLENKA Andrei P., Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
Associate Professor²
E-mail: Mirilen@bsatu.by

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 May 2022

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE METHOD FOR OPTIMIZING DIAGNOSING ALGORITHMS FOR DIAGNOSING INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF CARS

In modern practice of diagnosing complex technical devices different diagnosing methods and equipment, are developing fast. Nonetheless troubleshooting based on logical patterns is still relevant. Troubleshooting of internal combustion engines of cars in car service organizations is usually performed using diagnostic maps, which use algorithms for performing diagnostic operations (diagnosing algorithms). Consideration of real practice showed that the diagnostic algorithms used do not always have an optimal structure and are not focused on obtaining the least labor costs. Previously, we developed a method for modifying diagnostic algorithms aimed at achieving maximum economic efficiency and minimum labor costs for diagnosis. This work is devoted to a comparative analysis of diagnostic algorithms modified by the developed method and existing real diagnostic maps. The analysis was carried out using a specially developed method of virtual experiment based on the Monte Carlo method and bootstrap technology. As a result of the comparison, it was shown that, using the example of typical malfunctions of Lada cars, the application of the developed method statistically significantly reduced labor costs by 27%, which should also be recognized as economically significant.

Keywords: engine diagnostics, diagnostic map, graph, logical diagnostic algorithm with a choice of subsequent action, criterion for evaluating the effectiveness of diagnostics.

References

1. *Motorization Rate 2015 – Worldwide*. Available at: <https://www.oica.net/category/vehicles-in-use/> (Accessed 17 October 2021).

2. State Standard 20911–89. *Technical Diagnostics. Terms and Definitions*. Moscow, USSR State Committee on Quality Management of Products and Standards, 1989.10 (in Russian).

3. Serebryakov I. A. (2021) *Analysis of Existing Algorithms for Diagnosing Power Plants and their Effectiveness*. Izobretatel [Inventor], (1–2), 26–31 (in Russian).

4. Serebryakov I. A. (2022) *Development of Method for Optimization of Diagnostic Algorithms for Car Engines*. *Science and Technique*. 21 (4), 331–339. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-4-331-339> (in Russian)

5. Parkhomenko P. P., Sogomonyan E. S. (1981) *Fundamentals of Technical Diagnostics. Book 2. Optimization of Diagnostic Algorithms, Hardware*. Moscow, Energiya. Publ. 320 (in Russian).

6. Dunaev A. M. (2018) *The Procedure for Constructing an Optimal Logical Algorithm for Diagnosing*. *Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 22 (9), 82–90 (in Russian).

7. Tankovich, V. S. (1987) *The development of an optimal algorithm for a diagnosing of a diesel engine in the conditions of automotive enterprises*. *Cand. diss. abst.* Kharkiv, Publ 18 (in Russian).

8. Sobol, I. M. (1968) *The Monte-Carlo method*. Moscow, Nauka Publ 64 (in Russian).

9. Khlebushkin I. V. (2016) *Lada Vesta. The Results of the Resource Test Autoreview*. Autoreview, (22), 47–51 (in Russian).

10. *Electronic Engine Control System for 21129 Cars of the Lada Vesta Family with the M86 EBPO [EURO]-5 – Design and Diagnostics*. Available at:

https://chiptuner.ru/wp-content/docs/m86_vesta.pdf (Accessed 30 May 2022) (in Russian).

УДК 53.097,629.1.07

ГУРСКИЙ А. С., канд. техн. наук., доцент,
зав. каф. «Техническая эксплуатация автомобилей»
E-mail: asgurski@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.07.2022

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ЭЛЕКТРОБУСОВ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМОВ ИХ ОБЩЕГО И ПОЭЛЕМЕНТНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Внедрение в качестве городского транспорта электробусов и троллейбусов с увеличенным запасом хода требует корректирования приемов по обслуживанию и ремонту подвижного состава, а также переоснащения предприятий, эксплуатирующих данный тип транспортных средств. Самым сложным компонентом с точки зрения технической эксплуатации является накопитель энергии. Применяемые в электробусах литий-железо-фосфатные аккумуляторы обладают рядом достоинств. Основными параметрами аккумуляторов и аккумуляторных батарей являются: напряжение аккумуляторной батареи, емкость аккумуляторов, энергозапас аккумуляторной батареи, запас хода, средний и мгновенный расход электроэнергии, сила тока разряда, уровень заряда аккумуляторных батарей, температурный режим работы аккумуляторов. После анализа перечня параметров электронный блок управления указывает степень работоспособности системы накопления энергии. Анализ параметров и сравнение характеристик подтверждает высокую стабильность работы, отличные показатели надежности аккумуляторных батарей данного типа. Однако требуется постоянный контроль за отдельными аккумуляторами, модулями и в целом за аккумуляторной батареей с целью сохранения их срока службы. Наиболее рациональным способом контроля является постоянный дистанционный мониторинг технического состояния и параметров эксплуатации. Проведенные расчеты основных энергетических показателей высоковольтной аккумуляторной батареи подтверждают возможность создания алгоритмов общего и поэлементного диагностирования.

Ключевые слова: электробус, техническое обслуживание, ремонт, накопитель, параметры, характеристики, мониторинг, диагностирование.

Введение

В Республике Беларусь активно продвигается идея использования экологичного транспорта. Одним из направлений является внедрение в качестве городского транспорта электробусов и троллейбусов с увеличенным запасом

хода. Эти нововведения требуют корректирования приемов по обслуживанию и ремонту подвижного состава, а также переоснащения предприятий, эксплуатирующих данный тип транспортных средств [1].

Для анализа использован современный электробус МА3-303 Е. Заявленная производителем величина запаса хода электробуса составляет до 300 км [2]. Однако, эта величина может быть достигнута только в весенне-летнее-осеннее время, при достаточно длительном световом дне и положительных температурах окружающего воздуха. В зимнее время расход электроэнергии значительно возрастает, в связи с включением световых приборов, системы отопления салона электробуса, обогрева аккумуляторных батарей. Все это увеличивает расход и, как следствие, уменьшает запас хода до 220 км, вместо заявленных 300 км на одной зарядке. Все основные компоненты в электробусе собраны по классической схеме, однако имеются некоторые особенности. На блок-схеме показано подключение тягового двигателя

электробуса, высоковольтной аккумуляторной батареи (ВАКБ), коммутатора, инвертора и электронного блока управления (ЭБУ) в системе электрооборудования электробуса (рисунок 1).

Самым сложным с точки зрения технической эксплуатации является накопитель энергии. Накопитель энергии состоит из разнесенной высоковольтной аккумуляторной батареи, включающей 18 модулей 12 на крыше и еще 6 – в моторной шахте, в специальном отсеке над двигателем, общей емкостью 412 А·ч.

На рисунке 2 представлена практическая компоновка аккумуляторных модулей в электробусе.

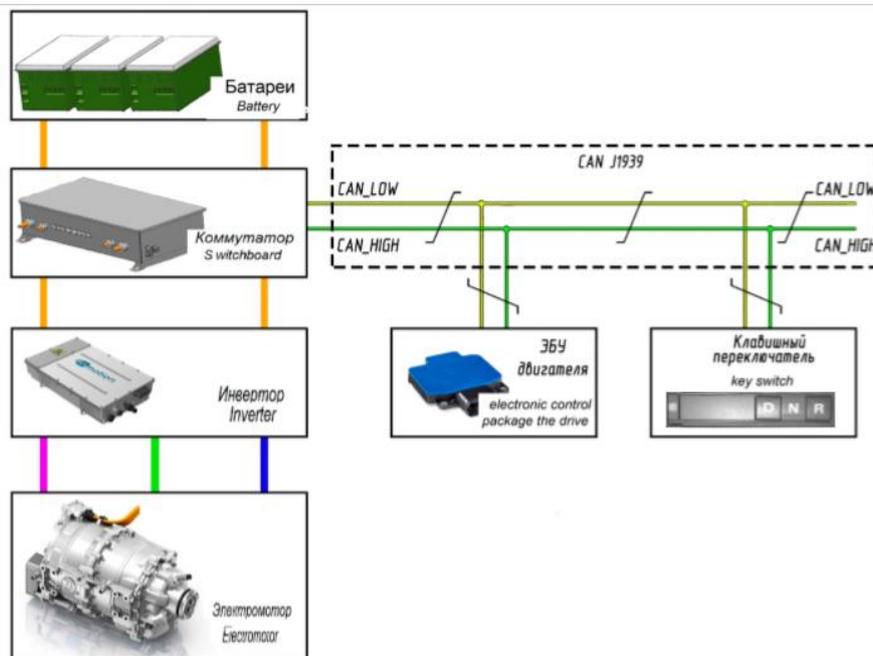


Рисунок 1 – Блок-схема подключения основных силовых компонентов электрооборудования электробуса



Рисунок 2 – Компоновка аккумуляторных модулей в электробусе

В задней части электробуса расположена розетка, куда подключается вилка кабеля для зарядки CCS2 Combo от зарядной станции, которая может обеспечить зарядное напряжение не менее 690 вольт. При быстром заряде максимальной силой тока в 200 ампер весь процесс зарядки займет менее 4 часов. При заряде силой тока 70 ампер электробус зарядится за 8 часов.

В электробусе МАЗ-303Е используются литий-железо-фосфатные аккумуляторы имеющие сокращенное название *LFP*. В данном типе литий-ионного аккумулятора в качестве катода используется сплав фосфата железа LiFePO_4 .

Принцип работы *LFP* аккумуляторов. В литий-железо-фосфатных аккумуляторах протекают реакции, основанные на взаимодействии литий-феррофосфата как материала катода и углерода в качестве материала анода: $\text{LiFePO}_4 + 6\text{C} \rightarrow \text{FePO}_4 + \text{LiC}_6$. Заряд переносят ионы лития. При разряде элемента питания они внедряются в кристаллическую структуру анода и отдают накопленный заряд, в результате чего протекают процессы окисления [3, 4]. При заряде источника питания ионы лития перемещаются от анода к катоду и накапливают заряд – происходит процесс восстановления (рисунок 3).

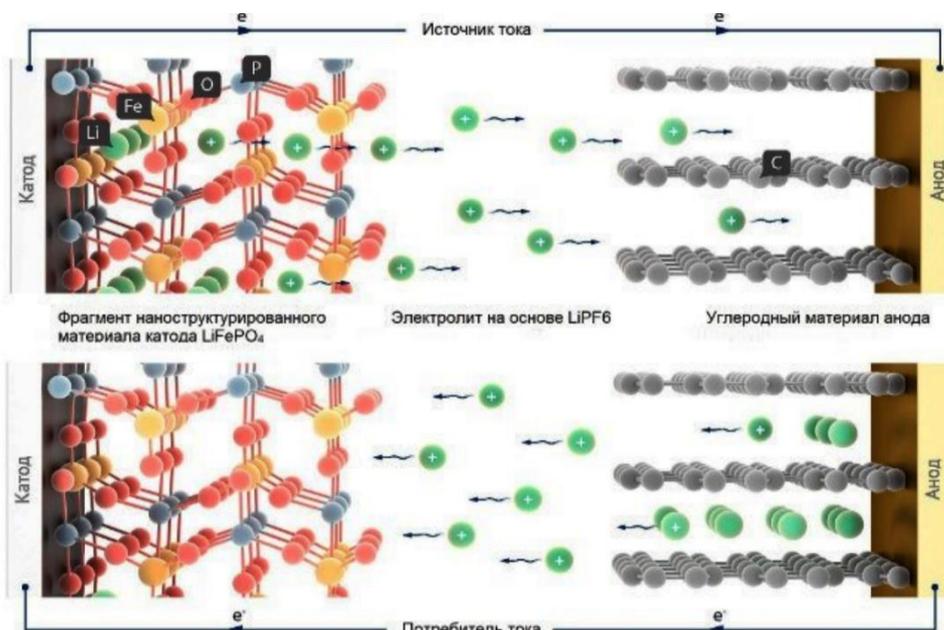


Рисунок 3 – Электрохимическая схема процесса заряда и разряда LiFePO_4 батареи

Основные параметры литий-железо-фосфатных аккумуляторов и аккумуляторных батарей:

- максимальное значение напряжения в элементе LiFePO_4 : 3,65 В (полностью заряжен). При достижении напряжения 3,7 В аккумуляторная батарея может разрушиться при достижении критических температур. Для продления срока эксплуатации, верхний диапазон напряжения принимается 3,3 В при зарядке от зарядной станции, для возможности дальнейшего использования рекуперации и не более 3,65 В при рекуперации;

- значение напряжения средней точки: 3,3 В;

- минимальное значение напряжения: 2 В (полностью разряжен) однако при таком разряде аккумулятор деградирует. Для долговечной работы аккумулятора требуется минимальное рабочее напряжение разряда не ниже 2,5 В. Таким образом, нижний диапазон работы аккумуляторов принимается не ниже 3 В [2];

- рабочее значение напряжения находится в диапазоне: 3,0–3,3 (3,65) В.

Напряжение аккумуляторной батареи для каждого состояния в процессе заряда-разряда определяется по формуле

$$U_{\text{АКВ}} = U_1 \cdot n_S \cdot n_M, \quad \text{В}, \quad (1)$$

где U_1 – напряжение единичного аккумулятора;

n_S – количество аккумуляторов, соединенных последовательно в модуле;

n_M – количество модулей, соединенных последовательно в аккумуляторной батарее.

В результате анализа аккумуляторных батарей было установлено, что количество модулей, установленных на электробусе МАЗ-303Е, соединенных последовательно составляет 18. Количество аккумуляторов, соединенных последовательно в модуле составляет 12. Результаты расчетов напряжений высоковольтных аккумуляторных батарей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета напряжений высоковольтных аккумуляторных батарей

Параметр ВАКБ	Значение напряжения аккумулятора, В	Значение напряжения ВАКБ, В
Номинальное напряжение	3,2	712,8
Наименьшее рабочее напряжение	3,0	648,0
Наибольшее напряжение аккумуляторной батареи при заряде от зарядной станции	3,3	712,8
Наибольшее напряжение аккумуляторной батареи при заряде при рекуперации	3,65	788,4

На рисунке 4 представлена зона приборной панели с указателями низковольтной и высоковольтной системы накопления энергии.



Рисунок 4 – Напряжение низковольтных аккумуляторных батарей и высоковольтного накопителя энергии

Емкость аккумуляторов в аккумуляторной батарее [7]. В каждом из восемнадцати модулей собраны аккумуляторы в сборки по последовательно-параллельной схеме. Последовательно соединены 12 сборок с общей номинальной емкостью 412 А·ч. Каждая сборка, предположительно, состоит из 103 аккумуляторов, емкостью 4 А·ч, соединенных параллельно.

Энергозапас аккумуляторной батареи [8] определяется по формуле:

$$W_{\text{АКВ}} = U_{\text{АКВ}} \cdot C, \text{ В} \quad (2)$$

где $U_{\text{АКВ}}$ – напряжение аккумуляторной батареи;

C – номинальная емкость, А·ч.

$$W_{\text{АКВ}} = 691,2 \cdot 412 = 255\,110,4 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 255,11 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Запас хода, средний и мгновенный расход электроэнергии способен рассчитать бортовой компьютер по результатам расчета энергозапаса, используя скоростные характеристики электробуса с учетом характера движения и пройденного пути (рисунок 5). Средний расход электроэнергии и мгновенный расход электроэнергии рассчитывается на 1 км пути. Остаточный запас хода по разряду (до зарядки) пересчитывается в остаточный запас хода по пробегу.

Сила тока разряда контролируется во времени при определенных значениях напряжения, что позволяет определить затраченную энергию, которая пропорциональна выполненной работе

$$A \approx E_{\text{АКВ}} = \sum_{i=0}^{n-1} (I_p \cdot U) \cdot \Delta t, \text{ кВт} \cdot \text{ч.} \quad (3)$$

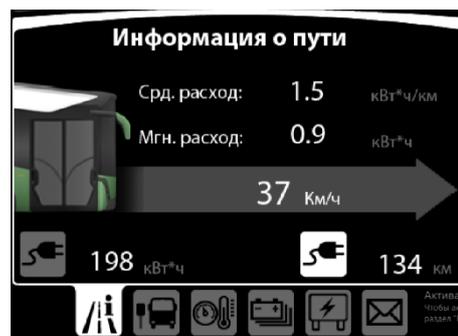


Рисунок 5 – Энергетические путевые показатели электробуса

Контроль силы тока производится шунтовыми датчиками или датчиками Холла на силовых клеммах инвертора или аккумуляторной батареи (рисунок 6). Одновременно значение силы тока выводится на панель приборов для контроля силы и направления электрического тока системы накопления энергии водителем.



Рисунок 6 – Указатель силы тока системы накопления энергии

Уровень заряда аккумуляторных батарей, в соответствии с формулами 2 и 3 определяется:

$$SOC = \frac{E_{\text{АКВ}}}{W_{\text{АКВ}}} \cdot 100 \% \quad (4)$$

Для повышения точности измерений уровня заряда можно применить алгоритм, базирующийся на оценке напряжения с применением способа интегрирования токов [9].

В электробусе уровень заряда высоковольтной системы накопления энергии (SOC) определяется индикатором на панели приборов, представленной на рисунке 7, который является одним из основных указателей уровня заряда

высоковольтной системы накопления энергии. Указатель предназначен для вывода информации об оставшемся заряде в высоковольтной системе накопления энергии. Информация выводится в процентах. Разновидностью контрольных ламп с функцией линейной интерполяции является барграф (рисунок 8).

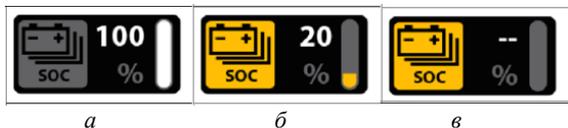


Рисунок 7 – Индикатор уровня заряда высоковольтной системы накопления энергии (SOC) с указанием числового значения заряда: *a* – полной зарядки; *б* – частичной зарядки; *в* – отсутствия информации

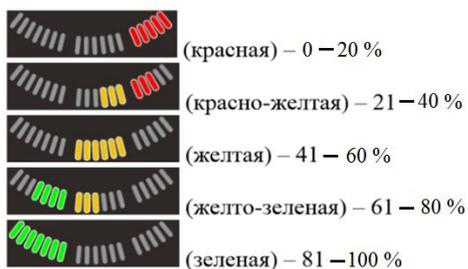


Рисунок 8 – Зоны показаний барграфа в зависимости от степени заряда накопителя энергии

Данный прибор указывает на состояние заряда накопителя энергии в процентах. Зона включения барграфа соответствует следующим

значениям уровня заряда системы накопления энергии.

Температурный режим работы аккумуляторов является немаловажным параметром высоковольтных накопителей, т. к. нарушение температурного режима в процессе разряда и заряда является критическим фактором при включении защиты от разрушения аккумуляторных батарей. Одновременно с этим на панель приборов выводится информация о температуре в соответствии с рисунком 9.



Рисунок 9 – Указатель температуры в системе накопления энергии: *a* – нормальный температурный режим; *б* – нагрев до температуры 60 °C; *в* – отсутствия информации

Степень работоспособности системы накопления энергии представлена на рисунке 10.



Рисунок 10 – Указатель степени работоспособности системы накопления энергии: *a* – работоспособен; *б* – работоспособен на 70 %; *в* – отсутствия информации

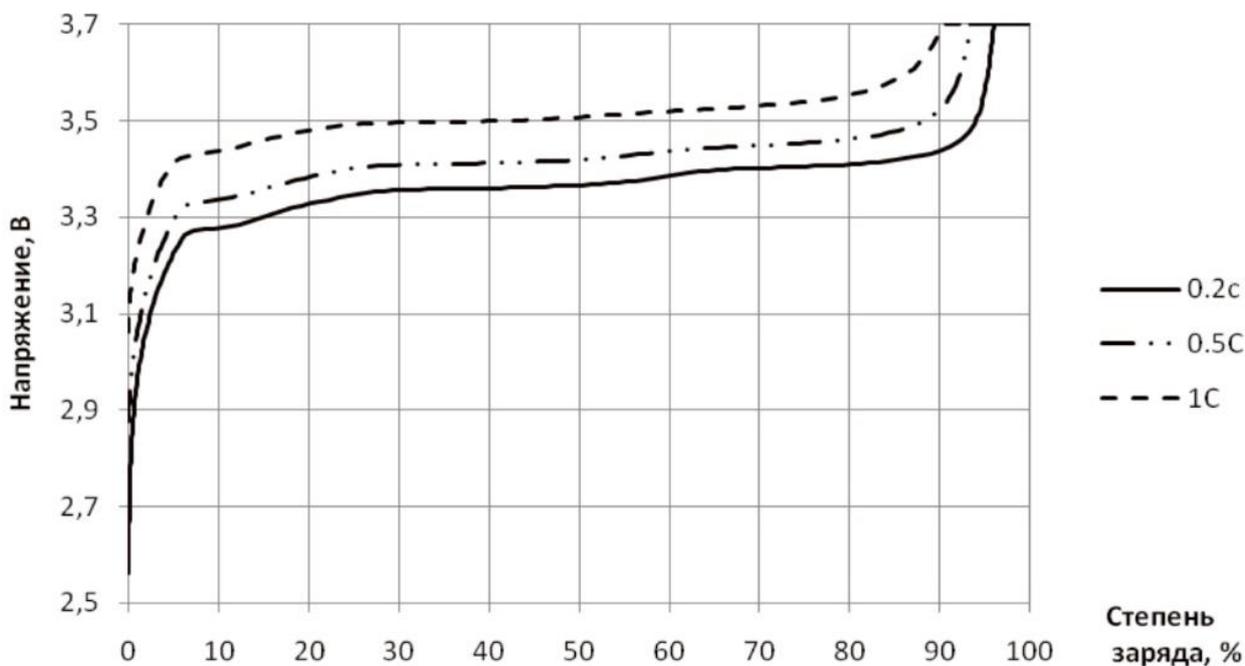


Рисунок 11 – Зависимость напряжения на аккумуляторе LFP от степени его заряженности при заряде разными силами тока (0,2C; 0,5C; 1C)

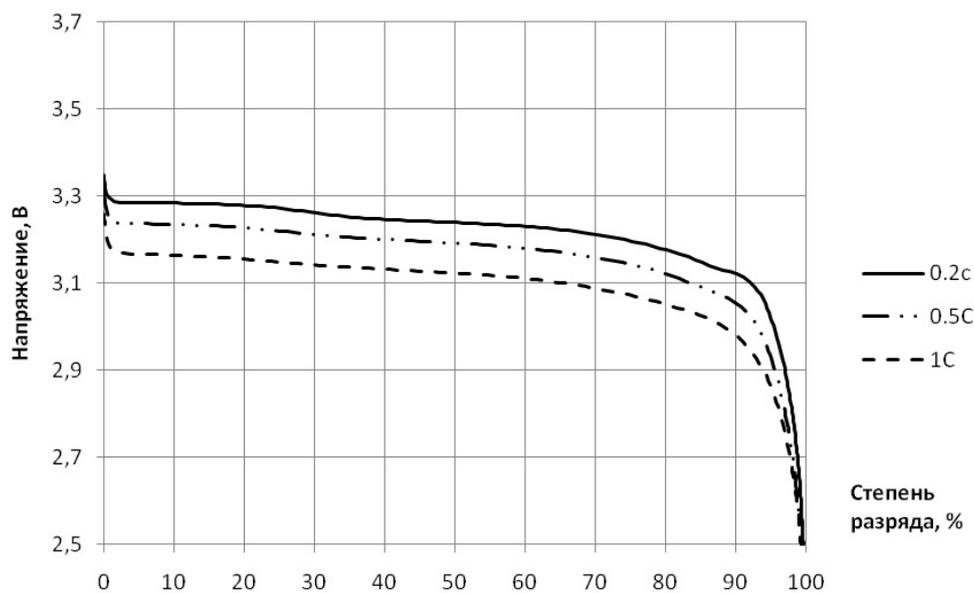


Рисунок 12 – Зависимость напряжения на аккумуляторе *LFP* от степени его разряда при разряде разными токами (0,2C; 0,5C; 1C)

Характеристики LiFePO_4 элементов. Для *LFP* аккумуляторов применяются характеристики заряда и разряда (рисунок 11 и 12) [10, 11].

Характерная кривая разряда LiFePO_4 элементов имеет значительный участок с очень медленным изменением напряжения [12]. К тому же, она имеет гистерезис. Эти особенности усложняют точный замер уровня заряда ячеек (*SOC*). Похожую кривую разряда-заряда имеют накопители энергии с типом химии LiCoPO_4 , LiFeSO_4F , LiMnPO_4 .

Сравнительная характеристика падения напряжения литий-железо-фосфатной аккумуляторной батареи, состоящей из 4 аккумуляторов, по сравнению с кислотной аккумуляторной батареей, состоящей из 6 аккумуляторов представлена на рисунке 13.

Литий-железо-фосфатная аккумуляторная батарея даже при значительной потере емкости до 98 %, сохраняет уровень напряжения 12 В, в то время как у свинцовой аккумуляторной батареи напряжение 12 В составляет при потере емкости 10 %, и далее напряжение резко падает.

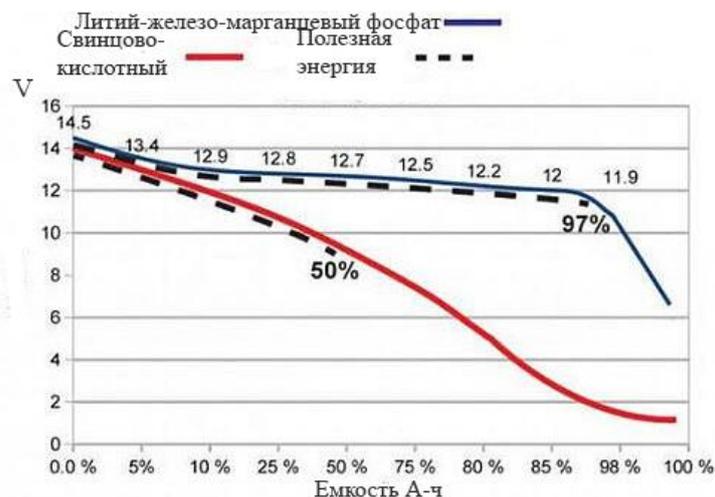


Рисунок 13 – Сравнительная характеристика изменения напряжения в зависимости от емкости литий-железо-фосфатного и кислотного аккумуляторов

Выводы

В результате анализа блок-схемы системы электрооборудования, компоновки расположения модулей аккумуляторов в системе накопления энергии электробуса МАЗ-303Е, рассмотрения особенностей литий-железо-фосфатных аккумуляторов установлено, что аккумуляторы

имеют высокую стабильность работы, отличные показатели надежности.

Требуется постоянный контроль за отдельными аккумуляторами, модулями и в целом за аккумуляторной батареей с целью предотвращения возникновения условий сокращения их срока службы. Наиболее рациональным способом

контроля является постоянный дистанционный мониторинг технического состояния и параметров эксплуатации.

Проведенные расчеты основных энергетических показателей высоковольтной аккумуляторной батареи подтверждают возможность создания алгоритмов общего и поэлементного диагностирования, с применением функции экспресс-диагностирования.

Литература

1. Савич, Е. Л. Анализ конструкций, методов и средств диагностирования гибридных автомобилей и электромобилей / Е. Л. Савич, А. С. Гурский // Автомобиле- и тракторостроение : материалы Международной научно-практической конференции / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – Т. 2. – С. 69.

2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://maz.by/products/passenger-vehicle/maz-303e10>. – Дата доступа: 25.05.2022.

3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://natoke.ru/articles/268-vsyo-o-litii-zhelezofosfatnyh-lifepo4-lfp-akkumuljatorah.html>. – Дата доступа: 21.04.2022.

4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tehnoviza.by/tyagovye-akkumulyatory/li-ion-tyagovye-akkumulyatory>. – Дата доступа: 12.03.2022.

5. Гурский, А. С. Методологические особенности анализа эффективности использования тяговых аккумуляторных батарей для электромобилей / А. С. Гурский, В. М. Изоитко, К. В. Буйкус // Изобретатель. – 2022. – № 1–2. – С. 15–20.

6. Использование транспортной телематики и дистанционной диагностики для совершенствования технического обслуживания и ремонта транспортных средств / А. С. Гурский, В. С. Ивашко // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук – 2020. – Т. 65, № 3. – С. 375–383.

7. Электрооборудование автомобилей: в 3 ч.: лабораторный практикум для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей» по направлениям 1-37 01 06-01

«Техническая эксплуатация автомобилей. Автотранспорт общего и личного пользования», 1-37 01 06-02 «Техническая эксплуатация автомобилей. Военная автомобильная техника», 1-37 01 07 «Автосервис», 1-08 01 01 «Профессиональное обучение» по направлению 1-08 01 01-09 «Профессиональное обучение. Автомобильный транспорт» / сост.: А. С. Гурский, А. В. Казацкий. – Минск: БНТУ, 2010. – Ч. 1.: Система электроснабжения. – 96 с.

8. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Электрооборудование автомобилей» для специальностей: 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)» и 1-37 01 07 «Автосервис» [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»; сост.: А. С. Гурский, И. А. Серебряков. – Минск : БНТУ, 2020.

9. Филиппович, А. И. BMS: измерение аналоговых показателей и трансформация их в цифровые = BMS: measurement of analog indicators and transformation into digital ones / А. И. Филиппович, А. С. Гурский // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сборник научных трудов : в 2 т. / Белорусский национальный технический университет, Автотракторный факультет ; редкол.: отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск: БНТУ, 2021. – Т. 2. – С. 53–61.

10. Применение литий-железо-фосфатных аккумуляторных батарей в составе систем оперативного постоянного тока на распределительных подстанциях и электростанциях // Информационно-аналитический журнал «Энергоэксперт». – Москва: Издательский дом «Вся электротехника», 2016 – № 2. – С. 46–54

11. Гурский, А. С. Совершенствование процесса зарядки аккумуляторных батарей электромобилей = Improving the charging process of electric vehicle batteries / А. С. Гурский, В. М. Изоитко, К. В. Буйкус // Изобретатель. – 2022. – № 1–2. – С. 21–24.

12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://probatareiki.ru/akkumulyatory/litij-zhelezofosfatnyj-akkumulyator-osobennosti-i-harakteristiki>. – Дата доступа: 11.06.2022.

GURSKY Alexandr S., Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,
head of the department «Technical operation of vehicles»
E-mail: ASGURSKI@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk

Received 05 May 2022

ANALYSIS OF PARAMETERS OF HIGH-VOLTAGE BATTERIES OF ELECTRIC BUSES IN ORDER TO CREATE ALGORITHMS FOR THEIR GENERAL AND ELEMENT-BY-ELEMENT DIAGNOSTICS USING TELEMATICS SYSTEMS

The introduction of electric buses and trolleybuses with an extended power reserve as urban transport requires the adjustment of techniques for the maintenance and repair of rolling stock, as well as the re-equipment of enterprises operating this type of vehicles. The most difficult component from the point of view of technical operation is the energy storage. Lithium-iron-phosphate batteries used in electric buses have a number of advantages. The main parameters of battery cells and battery modules are: battery voltage, battery capacity, battery power reserve, battery distance reserve, average and instantaneous power consumption, discharge current, battery charge level, battery temperature mode. After analyzing the set of parameters, the electronic control unit indicates the degree of operability of the energy storage system. Analysis of parameters and comparison of characteristics confirms the high stability of operation, excellent reliability of rechargeable batteries of this type. However, constant monitoring of batteries cells, cell modules and the battery pack is required in order to preserve their service life. The most rational way of control is constant remote monitoring of the technical condition and operating parameters. The calculations of the main energy indicators of a high-voltage battery confirm the possibility of creating algorithms for general and element-by-element diagnostics.

Keywords: electric bus, maintenance, repair, storage, parameters, characteristics, monitoring, diagnostics.

References

1. Savich, E. L. Analysis of constructions, methods and means of diagnosing electric cars / E. L. Savich, A. S. Gursky // Automotive and tractor building: materials of the International Scientific and Practical Conference / Belarusian National Technical University; ed. D. V. Kapsky. – Minsk : BNTU, 2019. – V. 2. – P. 69.
2. <http://maz.by/products/passenger-vehicle/maz-303e10>.
3. <https://natoke.ru/articles/268-vsyo-o-litii-zhelezo-fosfatnyh-lifepo4-lfp-akkumuljatorah>.html.
4. <https://www.tehnoviza.by/tyagovye-akkumulyatory/li-ion-tyagovye-akkumulyatory>.
5. Gursky, A. S. Methodological features of the analysis of the efficiency of the use of traction batteries for electric vehicles / A. S. Gursky, V. M. Izoitko, K. V. Buikus // Inventor. – 2022. – № 1–2. – P. 15–20.
6. The use of transport telematics and remote diagnostics to improve the maintenance and repair of vehicles / A. S. Gursky, V. S. Ivashko // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Physical and Technical Sciences, 2020. – V. 65, № 3. – P. 375–383.
7. Electrical equipment of cars. At 3 p.m. Part 1. Power supply system: laboratory workshop for students of specialties 1-37 01 06 «Technical operation of vehicles» in the directions 1-37 01 06-01 «Technical operation of vehicles. Vehicles for general and personal use», 1-37 01 06-02 «Technical operation of vehicles. Military automotive equipment», 1-37 01 07 «Car service», 1-08 01 01 «Vocational training» in the direction 1-08 01 01-09 «Vocational training. Automobile transport» / comp.: A. S. Gursky, A. V. Kazatsky. – Minsk: BNTU, 2010. – 96 p.
8. Electronic educational and methodological complex for the discipline «Electrical equipment of vehicles» for specialties: 1-37 01 06 «Technical operation of vehicles (according to directions)» and 1-37 01 07 «Auto service» [Electronic resource] /

Belarusian National Technical University, Department «Technical operation of vehicles»; compiled by: A. S. Gursky, I. A. Serebryakov. – Minsk: BNTU, 2020.

9. Filippovich, A. I. BMS: measurement of analog indicators and transformation into digital ones / A. I. Filippovich, A. S. Gursky // Autotractor building and road transport: collection scientific works: in 2 volumes / Belarusian National Technical University, Automotive and Tractor Faculty; editorial board: D. V. Kapsky (responsible editor) [et al.]. – Minsk: BNTU, 2021. – V. 2. – P. 53–61.

10. The use of lithium-iron-phosphate batteries as part of operational DC systems at distribution substations and power plants. – Information and analytical journal «Energoexpert». – Moscow: Publishing House «Vsyta Elektrotehnika», 2016 – № 2. – P. 46–54.

11. Gursky, A. S. Improving the charging process of electric vehicle batteries / A. S. Gursky, V. M. Izoitko, K. V. Buikus // Inventor. – 2022. – № 1–2. – P. 21–24.

12. <https://probatareiki.ru/akkumulyatory/litij-zhelezo-fosfatnyj-akkumulyator-osobennosti-i-harakteristiki>.

УДК 629.113

ГОНЧАРОВА Е. А.,

ст. преп.

E-mail: hancharova@bntu.by

БОЙКОВ В. П., д-р техн. наук, проф.,

зав. каф. «Тракторы»

E-mail: trak_atf@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 07.07.2022

ЭТАПЫ ПЕРЕХОДА К БЕСПИЛОТНЫМ АВТОМОБИЛЯМ

Ожидается, что автономное вождение произведет революцию в дорожном движении, смягчив текущие внешние факторы, особенно аварии и заторы. Тем не менее, сомнения и проблемы, которые необходимо преодолеть, по-прежнему огромны, поскольку внедрение автономной среды вождения включает в себя не только сложные автомобильные технологии, но и поведение людей, этику, стратегии управления дорожным движением, политику, ответственность и т. д. С технической точки зрения однозначное обнаружение препятствий на высоких скоростях и на больших расстояниях является одной из самых больших трудностей. Что касается стратегий управления дорожным движением, все подходы разделяют представление о том, что транспортные средства должны вести себя сообща. Обсуждаются варианты общего сотрудничества V2V и взвода, оба с несколькими вариантами. С помощью моделирования разрабатываются и проверяются различные стратегии, построенные с разных точек зрения. В этой статье представлен обзор современного состояния дел в ключевых аспектах автономного вождения.

Ключевые слова: автономные транспортные средства, автомобильные технологии, совместное вождение, эффективность дорожного движения, влияние автоматизации транспортных средств.

Введение

Необходимость в новом продукте и его разработке возникает исходя из потребностей че-

ловека, которые представляются на потребительском рынке через соответствующий новый продукт.

Для того чтобы оценить и определить возможности создания такого продукта, как бы нам не хотелось ускорить его появление, мы должны четко представлять уровень развития мировой промышленности, включая технологии и разработки. Об этом нам говорит содержание того или иного мирового технологического уклада. Уклады сегодняшнего и завтрашнего дня – это 5-й и 6-й.

5-й технологический уклад (1990–2040): электронная промышленность, вычислительная техника и оптоволоконные технологии, программное обеспечение, цифровая экономика, телекоммуникации, роботостроение, автономные (беспилотные) транспортные средства.

6-й технологический уклад (2040–2090): биотехнология, искусственный интеллект, глобальные информационные сети, интегрированные высокоскоростные транспортные системы [1].

Поэтому нам, прежде всего, необходимо оценить необходимость такой разработки, а затем – технологические и производственные возможности ее реализации ориентируясь, естественно, только на перспективные методы, определяющие основу и суть одного из двух приведенных технологических укладов [2] (в нашем случае – беспилотники уже должны присутствовать на рынке в 5-м укладе).

Итак, чем же вызвана необходимость в беспилотных транспортных средствах?

Мир сегодня в рамках четвертой промышленной революции – Индустрия 4.0 и вот ее основные составляющие: материальный мир соединяется с виртуальным порождая новые кибер-физические системы (CPS), объединенные в одну цифровую экосистему; экономика переходит к новому технологическому укладу: технологии искусственного интеллекта, облачные вычисления и робототехнические системы; главная цель уклада: освобождение человека от скучного рутинного труда, повышение качества жизни, новый уровень организации производства и транспортных систем.

Эти составляющие четко иллюстрирует приведенная ниже схема (рисунок 1).



Рисунок 1 – Элементы Индустрии 4.0

Причины, побуждающие к созданию беспилотных транспортных средств

Основные причины, побуждающие к созданию беспилотных транспортных средств и организации инфраструктуры для их движения [3]:

– возросшие визуальные требования, предъявляемые к водителям из-за добавления большего количества встроенных систем;

– автомобиль – новый тип коммуникационной платформы: радио, мобильные устройства, телефон, Интернет, телевидение и социальные сети;

– визуальные когнитивные ресурсы водителя ограничены из-за большого объема или неправильно представленной информации и, как следствие, отсутствие должного контроля за дорожным движением и системой безопасности своего собственного транспортного средства.

Анализируя эти причины и уровень технологического мирового развития приходим к выводу, что для реализации нашей цели есть все основания, и технологии. Дело в том, что инструментарий, который будет пронизывать все отраслевые блоки в ближайшие 10 лет – это искусственный интеллект. А беспилотные технологии, развивающиеся с помощью этого инструментария – наиболее перспективная сфера в автомобильной отрасли. Сегодня над технологиями автономного вождения работают крупные технологические компании Мира. Беларусь не отстает в этом плане. Дело в том, что в нашей стране исторически сложилась довольно сильная школа искусственного интеллекта, результатами труда которой пользуются в различных странах мира.

Еще в 80-е и 90-е годы все более широкое развитие получают транспортные средства городского электрического транспорта, открываются новые троллейбусные и трамвайные маршруты в различных городах республики, появился и расширяется метрополитен в Минске. С 1994 года завод «Белкоммунмаш» уже стал производить такие транспортные средства на основе собственных разработок.

В связи с мировыми тенденциями обеспечения экологической безопасности планеты намечались серьезные изменения в мировой концепции развития транспортных средств и мобильных машин. Превалирующее развитие получают именно электрические транспортные средства. В Республике Беларусь сформирована Государственная программа по развитию электрического транспорта и соответствующей городской инфраструктуры [4].

Сегодня расширяется количество видов и моделей электрического транспорта – электро-мобили, электробусы, троллейбусы с автономным ходом, тракторы с электрической трансмиссией, беспилотные модификации транспортных средств и т. д.

Итак, главная задача беспилотника – провести пассажира по нужному ему маршруту безопасно. Эта задача может быть успешно решена путем разработки следующих блоков [3]:

- алгоритма объединения данных от нескольких установленных на машину датчиков, поступающих в режиме реального времени, с offline-картой с одновременным контролем текущего местоположения и пройденного пути;
- технологии взаимодействия с инфраструктурой дороги (умный город);
- приборного обеспечения комплексной технологии беспилотного наземного транспорта.

Эти блоки объединяются в одну систему: «приборное обеспечение и автоматизация автомобиля – приборное обеспечение и автоматизация инфраструктуры дороги – технология и алгоритм взаимодействия с инфраструктурой дороги (умный город)». Для реализации этой системы в структуре алгоритма беспилотника необходимо пройти три стадии – автоматизацию авто, приборную цифровизацию дорожного пути или дорожной инфраструктуры и алгоритм принятия конечных решений, т. е. взаимодействия с инфраструктурой дороги (умный город).

Итак, автоматизация автомобиля. Суть алгоритма взаимодействия беспилотника с дорожной инфраструктурой в объединении данных от нескольких установленных на машину датчиков, поступающих в режиме реального времени, с offline-картой при одновременном контроле текущего местоположения и пройденного пути.

Автоматизированному вождению уделяется все больше внимания для всех видов транспорта. Наиболее часто приводимые доводы в пользу этой технологии включают повышение эффективности транспорта, что приводит к лучшему использованию производственных мощностей и меньшему негативному воздействию на окружающую среду.

Уровни автоматизации автономного транспорта

SAE International (Международное общество автомобильных инженеров) была представлена система классификации транспортных средств по степени их автоматизации, начиная от транспортных средств уровня 0, полностью управляемых человеком, и заканчивая автономными

транспортными средствами 5 уровня. Автомобили 2-го уровня, которые могут, например, автономно регулировать скорость и помогать управлять транспортным средством при определенных условиях, доступны уже сегодня, но водитель должен все время следить за дорогой. Автономные автомобили 3-го уровня, которые уже были протестированы в уличном движении, могут самостоятельно ездить по большинству нанесенных на карту дорог, однако они все еще требуют участия водителя. Он должен обратить внимание и принять на себя управление после получения соответствующего уведомления. Тем не менее, автомобильная промышленность не прекращает свои усилия в направлении выпуска автономного автомобиля уровня 4 всего через два года. Такой автомобиль передвигается самостоятельно, например, по магистралям автодорогам, без участия водителя. Водитель даже сможет поспать в своем сидении во время движения. Конечным этапом развития умного автомобиля должен стать 5-й уровень, который является полностью автономным, независимо от типа дороги, однако, возможность человека принять управление на себя, допускается [5].

Для достижения автономности автомобиля необходимо выполнить циклический процесс, показанный на рисунке 2. Сначала датчики фиксируют окружение и состояние автомобиля, затем восприятие и локализация определяют положение автомобиля по отношению к его препятствиям, чтобы можно было планировать путь и планирование движения. Желаемый маршрут будет рассчитан и отправлен на контроллер автомобиля. Это сгенерирует выходные данные, которые пойдут на исполнительные механизмы, чтобы автомобиль мог реагировать на окружающую среду [6].

В качестве датчиков для наземных беспилотников применяют стереокамеры, GPS, гиростабилизаторы, датчики одометрии, радары и лидары (лазерные сенсоры, измеряющие расстояние до объектов с помощью света). Вариант комплектации автомобиля, соответствующий необходимому уровню информации (автоматизации) представлен на рисунок 3.

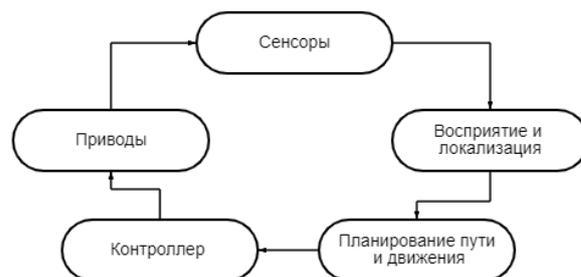
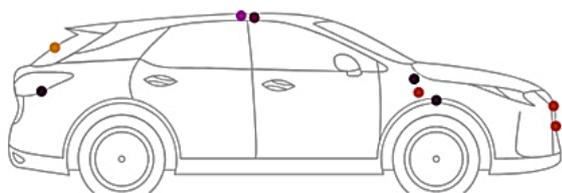


Рисунок 2 – Автономные шаги вождения



- радарные датчики; ● лидар; ● камеры;
- дополнительный лидар; ● основной компьютер в багажнике

Рисунок 3 – Вариант комплектации автоматизированного автомобиля



Рисунок 4 – Распознавание объектов в системе визуального понимания

Приборная цифровизация дорожного пути или дорожной инфраструктуры

Для реализации технологии взаимодействия с инфраструктурой дороги (умный город) необходимо обеспечить выполнение следующих требований [7]:

1. Оптимальное использование данных о дорогах, дорожном движении и поездках.
2. Непрерывность перевозок и управление перевозками.
3. Применение информационных технологий и стандартов в области безопасности дорожного движения и обеспечения безопасности.
4. Связь транспортного средства с транспортной инфраструктурой.

Указанные требования можно выполнить за счет создания соответствующей цифровой инфраструктуры и организации взаимосвязи в системе «автомобиль-дорога».

В такой настраиваемой системе визуального внимания должны четко распознаваться различные объекты дорожной инфраструктуры, такие как дорожные знаки, светофоры, пешеходы, транспортные средства и полосы движения и даже целые схемы перекрестков (рисунок 4).

В частности, предлагаются следующие меры:

- предоставление сетей связи с низкой задержкой, таких как 5G, или беспроводных стандартов, таких как G5;
- подготовка решений с проблемой данных, генерируемых инфраструктурами V2I [8] (транспортное средство к инфраструктуре), чтобы они соответствовали национальному или международному законодательству;
- подготовка HD-карты соответствующей транспортной инфраструктуры;
- постоянный учет наиболее вероятного растущего спроса на ИТ-безопасность и ИТ-системы.

Упомянутое здесь инфраструктура системы V2I (Vehicle-to-infrastructure или транспортное средство к инфраструктуре) – это коммуникационная модель, которая позволяет транспортным средствам обмениваться информацией с компонентами, поддерживающими систему автомобильных дорог страны. Связь V2I, как правило, беспроводная и двунаправленная: данные от компонентов инфраструктуры могут быть доставлены в автомобиль по специальной сети и наоборот [9].

В интеллектуальной транспортной системе датчики V2I выполняют следующие функции: сбор данных об инфраструктуре; предоставление путешественникам рекомендации в режиме реального времени о дорожных условиях, пробках на дорогах, авариях, зонах строительства и наличие парковки; использование данных об инфраструктуре и транспортных средствах для установки различных ограничений скорости и корректировки фазы и времени сигнала светофора (для повышения экономии топлива и увеличения транспортного потока).

Вершиной такого алгоритма будет технология, при которой автомобиль взаимодействует с инфраструктурой дороги (умный город), но пока это возможно только в ограниченном пространстве в маленьких экспериментальных городах (наподобие Иннополиса), поскольку масштабно этим заниматься пока еще долго и дорого [3].

То есть любой нюанс дороги, который может представлять опасность при движении по ней автомобиля, должен быть учтен системой. А значит, информация о дорожной сцене должна быть максимально точной. Качество (точность) этой информации зависит от качества датчиков, вернее, от того, что и как они умеют детектировать, а сама система и ее алгоритм, обеспечивая требуемое быстродействие (выше об этом говорилось), реализовывать правильные решения.

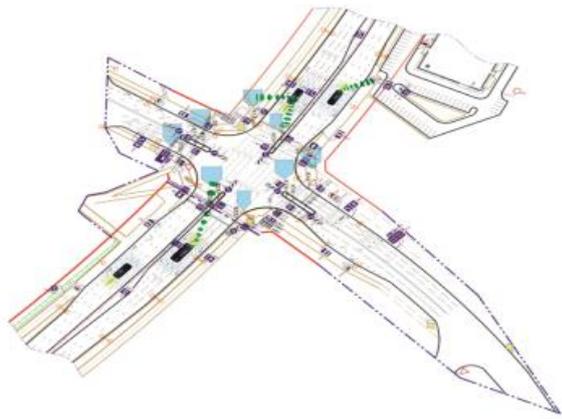


Рисунок 5 – Фрагмент инфраструктуры «умный город»

Технология и алгоритм взаимодействия с инфраструктурой дороги (умный город)

Алгоритм взаимодействия автомобиля с инфраструктурой дороги, так называемый искусственный интеллект (ИИ) автомобиля – это мозговой узел беспилотника. Он приводит машину в движение, задает скорость и прокладывает путь, а также способен управлять автомобилем в любых погодных условиях, распознавать дорожные знаки, сигнал светофора, пешеходов, животных, различные препятствия. ИИ может отличить «Скорую помощь» со спецсигналом от других автомобилей и уступить дорогу, спокойно переехать через «лежащего полицейского» и остановиться перед поваленным деревом.

Полученный анализ система беспилотника сравнивает с информацией из базы данных и действует по оптимальному варианту: снижает скорость; включает аварийное торможение; припарковывается. То есть машина не только перевозит пассажира из точки А в точку Б, но и принимает решение, как действовать в критических ситуациях. Весь цикл обработки информации укладывается в 140 миллисекунд. Это в 2–3 раза быстрее человека [10].

По уровню безопасности езды искусственный интеллект в несколько раз превосходит человека. Благодаря совершенству камер и датчиков он может двигаться в полной темноте и в условиях плохой видимости. Когда камеры бесполезны, например, во время ливня, снегопада или тумана, автомобиль получает информацию с радаров.

То есть ИИ не только усваивает информацию, которую разработчики заложили в базу данных, но и способен самообучаться на основе перспективных, но уже получивших признание самообучающихся нейросетей (системы компьютерного зрения для распознавания различных

объектов, например, номеров автомобилей или лиц).

Несмотря на то, что первый автономный автомобиль создан в США в 1984 – это были проекты Navlab и ALV [3] (проект автономного наземного транспортного средства), разработанные Университетом Карнеги-Меллон (CMU), тем не менее, развитие данного типа транспортных средств продвигается крайне медленно.

Помимо сложнейшей технологии и программного обеспечения в создании искусственного интеллекта беспилотника есть и другие тормозящие факторы. Кроме финансовой составляющей, главный из них – Законодательство – основная проблема, препятствующая массовому распространению беспилотных технологий. В каждой стране оно имеет различные оттенки.

Что касается Республики Беларусь, эта тема развивается крайне медленно, несмотря на уже начавшиеся системные работы в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси.

Так, в аналитическом докладе Евразийской экономической комиссии

«О существующих в государствах-членах Евразийского экономического союза интеллектуальных транспортных системах (ИТС), используемых в сфере автомобильного транспорта и дорожного хозяйства» (Москва 2019) [11], приведена характеристика существующих в государствах-членах интеллектуальных транспортных систем, используемых в сфере автомобильного транспорта и дорожного хозяйства.

При этом поставлены следующие задачи:

- развитие гармонизированной нормативной правовой базы, регулирующей ИТС в сфере автомобильного транспорта;
- развитие дорожной инфраструктуры на основе внедрения ИТС;
- взаимодействие ИТС и автономных транспортных средств (беспилотных автомобилей).

Так к 2020 году предполагалось сформировать интеллектуальную транспортную систему, интегрированную с транспортными системами ЕС и ЕАЭС, объединяющую автомобильный, железнодорожный, воздушный и водный транспорт на основе единого информационного транспортного пространства. Она должна была включать сеть мультимодальных транспортно-логистических центров, позволяющих на основе современных информационно-коммуникационных технологий оказывать услуги по доставке грузов по принципу «от двери к двери»,

а также создать условия для организации перевозок беспилотными транспортными средствами.

Также в г. Минске предусматривалась реализация проекта по созданию интеллектуальной транспортной системы, которая позволит повысить безопасность дорожного движения, оптимизировать транспортные потоки, снизить экологические, экономические и социальные потери в дорожном движении.

Однако, полной информации о результатах выполнения поставленных задач в доступных источниках не достаточно, тем более о развитии беспилотных транспортных средств.

Заключение

В статье объясняется, как беспилотники могут способствовать повышению эффективности, безопасности, чистоты и инклюзивности мобильности будущего. Однако также подчеркивает, что для достижения этой цели необходимо выполнить несколько достаточно непростых условий. В противном случае внедрение автономных транспортных средств в транспортные потоки не может принести желаемых результатов. Полностью беспилотные автомобили, в силу приведенных в материалах статьи результатов, не скоро появятся на рынке, в частности и в Республике Беларусь. Между тем, время, необходимое для преодоления технологических и интеллектуальных проблем, должно быть использовано для разработки совместных стратегий управления дорожным движением, которые гарантируют успех после их внедрения. Кроме того, особое внимание необходимо уделить юридическим и этическим вопросам, от которых будет зависеть, когда общество будет готово к будущей среде автономного вождения.

Литература

1. Технологический уклад [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Технологический_уклад](https://ru.wikipedia.org/wiki/Технологический_уклад). – Дата доступа: 12.06.2022.

2. Шесть технологических укладов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://>

[general-skokov.livejournal.com/ 24586. html](https://general-skokov.livejournal.com/24586.html) – Дата доступа: 12.06.2022.

3. Развитие технологий беспилотного наземного транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://cognitivepilot.com/ autotransport1/razvitie-tehnologij-bespilotnogo-nazemnogo-transporta/](https://cognitivepilot.com/autotransport1/razvitie-tehnologij-bespilotnogo-nazemnogo-transporta/). – Дата доступа: 12.06.2022.

4. О Комплексной программе развития электро-транспорта на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100213>. – Дата доступа: 12.06.2022.

5. Беспилотные автомобили и автомобили высокой степени автоматизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru / document/cons_doc_LAW_309650/ 7ca6bbd72c47de7ee559a27e7a3b01632cc08baf/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_309650/7ca6bbd72c47de7ee559a27e7a3b01632cc08baf/). – Дата доступа: 12.06.2022.

6. «Self-Driving Car Autonomous System Overview – Industrial Electronics Engineering», Universidad de Navarra, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dadun.unav.edu/handle/10171/59563?locale=es>. – Дата доступа: 12.06.2022.

7. Supervised Learning: Pooling, Stanford University, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ufldl.stanford.edu/tutorial/supervised/Pooling/>. – Дата доступа: 12.06.2022.

8. Managing lane-changing of algorithm-assisted drivers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X22000328>. – Дата доступа: 12.06.2022.

9. Автопилот. Беспилотный автомобиль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: tadviser.ru/index.php. – Дата доступа: 12.06.2022.

10. Беспилотные автомобили: сколько стоят, когда поступят в продажу и как ИИ справляется с бездорожьем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mcs.mail.ru/blog/bespilotnye-avtomobili-skolko-stoat-kogda-postupat-v-prodazu>. – Дата доступа: 12.06.2022.

11. Доклад Евразийской экономической комиссии «О существующих в государствах-членах Евразийского экономического союза интеллектуальных транспортных системах (ИТС), используемых в сфере автомобильного транспорта и дорожного хозяйства». – Москва, 2019.

GONCHAROVA Katerina A.,
Senior Lecturer
E-mail: hancharovaea@bntu.by

BOYKOV Vladimir P., D. Sc. in Eng., Prof.,
head of the department «Tractors»
E-mail: trak_atf@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 07 July 2022

STAGES OF TRANSITION TO SELF-DRIVING CARS

Autonomous driving is expected to revolutionize road traffic by mitigating current external factors, especially crashes and congestion. However, the doubts and challenges to overcome are still huge as the implementation of an autonomous driving environment includes not only sophisticated automotive technology, but also human behavior, ethics, traffic management strategies, politics, responsibility, etc. From a technical point of view, the unambiguous detection of obstacles at high speeds and over long distances is one of the greatest difficulties. As far as traffic management strategies are concerned, all approaches share the notion that vehicles should behave in a collaborative manner. Options for overall V2V and platoon collaboration are being discussed, both with multiple options. Simulations are used to develop and test different strategies from different perspectives. This article provides an overview of the current state of the art in key aspects of autonomous driving.

Keywords: *automotive vehicles, automotive technology, integrated driving, traffic efficiency, impact on vehicle safety.*

References

1. Technological mode/ Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Technological_mode. – Date of access: 06/12/2022 (in Russian).
2. Six technological modes. – Available at: <https://general-skokov.livejournal.com/24586.html>. – Access date: 06/12/2022. (in Russian).
3. Development of unmanned ground transport technologies. – Available at: <https://cognitivepilot.com/autotransport1/razvitie-tehnologij-bespilotnogo-nazemnogo-transporta/>. – Access date: 06/12/2022. (in Russian).
4. Comprehensive Program for the Development of Electric Transport for 2021–2025. – Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100213>. – Access date: 06/12/2022 (in Russian).
5. Unmanned vehicles and vehicles of a high degree of automation. – Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_309650/7ca6bbd72c47de7ee559a27e7a3b01632cc08baf/. – Access date: 06/12/2022 (in Russian).
6. Self-Driving Car Autonomous System Overview - Industrial Electronics Engineering», Universidad de Navarra. – Available at: <https://dadun.unav.edu/handle/10171/59563?locale=es>. – Access date: 12/06/2022.
7. Supervised Learning: Pooling, Stanford University. – Available at: <http://ufldl.stanford.edu/tutorial/supervised/Pooling/>. – Access date: 06/12/2022.
8. Managing lane-changing of algorithm-assisted drivers. – Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X22000328>. – Access date: 06/12/2022.
9. Autopilot. Unmanned vehicle. – Available at: tadviser.ru/index.php. – Access date: 06/12/2022.
10. Unmanned vehicles: how much they cost, when they go on sale and how AI copes with off-road. – Available at: <https://mcs.mail.ru/blog/bespilotnye-avtomobili-skolko-stoat-kogda-postupat-v-prodazu>. – Access date: 06/12/2022.
11. Report of the Eurasian Economic Commission «On the Intelligent Transport Systems (ITS) existing in the Member States of the Eurasian Economic Union used in the field of road transport and road infrastructure». – Moscow 2019. (in Russian).

ИОВЛЕВА Е. Л., канд. техн. наук, доц.,
зав. кафедрой «Машиноведение»¹
E-mail: elizaveta-iovleva@yandex.ru

ФИЛИППОВА Н. А., д-р техн. наук, доц.,
профессор кафедры «Автомобильные перевозки»²
E-mail: umen@bk.ru

КУРЕНКОВ П. В., д-р экон. наук, проф.,
Профессор кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы»³
E-mail: info@rut-miit.ru

ВАКУЛЕНКО С. П., канд. техн. наук, проф.,
Директор института управления и цифровых технологий³
E-mail: info@rut-miit.ru

¹ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова»
(СВФУ им. М.К. Аммосова), Якутск, Россия

²ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)»

³Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

Поступила в редакцию 13.05.2022

ВНЕДРЕНИЕ УМНОГО СВЕТОФОРА КАК ФАКТОРА БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА УЛИЦАХ Г. ЯКУТСКА

Повышение безопасности дорожного движения, направленное на сохранение жизни, здоровья и имущества граждан Российской Федерации является одним из приоритетных направлений государственной политики и важным фактором обеспечения устойчивого социально-экономического и демографического развития страны. Как показывает статистика большая часть дорожно-транспортных происшествий происходит при интенсивном движении автомобилей. Согласно федеральному проекту «Безопасность дорожного движения» к 2030 году количество погибших в дорожно-транспортных происшествиях на 100 тыс. населения, человек должно уменьшиться до 4 человек. Цель этой статьи, определить наиболее интенсивные участки движения, для последующего внедрения интеллектуальной транспортной системы. Город Якутск является самым крупным городом в Республике Саха (Якутия), соответственно большая часть дорожно-транспортных происшествий происходит именно в городе. В рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» в городе была изучена интенсивность движения транспортных потоков, для возможного внедрения интеллектуальных транспортных систем. Новизна работы состоит в том, что в Республике Саха (Якутия), впервые будет определена интенсивность движения транспортных средств, для организации управленческих подходов и методик по управлению транспортными потоками и их распределению. Это возможно с помощью интеграции в работе по регулированию движения транспортных потоков – интеллектуальных транспортных систем. В этой статье показаны результаты интенсивности движения в двух транспортных узлах из 78 транспортных узлов в городском округе Якутск. Первый узел – это перекресток улиц Октябрьская – Ойунского – Поляркова. Второй узел – это перекресток улиц Дзержинского – Кальвица. Как показали исследования, самыми интенсивными отрезками времени явились утром с 8.30 до 9.00 и вечером с 17.45 до 18.30. Интенсивность движения определяли по методике ГОСТ 32965-2014, замеры делались в утренние, дневные и вечерние часы. Затем определялись для каждой точки интервал с наиболее интенсивным движением.

Keywords: интенсивность движения, транспортные потоки, умный светофор.

Введение

Основной проблемой улично-дорожной (УДС) сети и транспортного комплекса является проблема транспортных заторов, что ведет к повышению аварийности на дорогах. Исследования Х. Иносэ и Т. Хамада [6] показали, что эффективность управления безопасностью дорожного движения, напрямую зависит от количества транспортных средств. В перенасыщенной транспортной системе улично-дорожная сеть не соответствует высокоскоростным транспортным средствам и беспорядочным движением каждого транспортного средства в потоке [1]. В. Н. Денисов и В. А. Рогалев [3] заметили, что уровень автомобилизации страны с каждым годом повышается. Высокий уровень автомобилизации ведет к:

- увеличению количества ДТП;
- затруднению движения;
- явлению транспортных заторов;
- повышению выделения выхлопных газов в окружающую среду;
- социальный дискомфорт.

В России движение транспортных средств начали изучать с конца 70-х годов. В конце 90-х в США включила проблемы в организации безопасности дорожного движения в ряд проблем национальной безопасности [11]. На сегодняшний день имеется обширная литература по изучению, моделированию, управлению транспортными потоками. Однако, следует заметить, что в больших городах нужно не только управлять транспортными потоками, но и заниматься распределением и перераспределением транспортных потоков, для предупреждения транспортных заторов.

В Республике Саха (Якутия) официально зарегистрировано более 317 тысяч автотранспортных средств, из них более 234 тысяч легковых автомобилей, более 51 тысячи – грузовых, 7900 тысяч автобусов. Большая часть этих транспортных средств сконцентрировано в городском округе Якутск. Количество автотранспортных средств имеет тенденцию к увеличению. Это в свою очередь увеличивает нагрузку на улицы: узкие не предназначенные для большого количества машин улицы в час пик создаются транспортные заторы и множество аварийных ситуаций. 1 полугодие 2021 г. в республике всего случилось 653 дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых погибло 90 человек.

Любое распределение и перераспределения транспортных средств, зависит от нагруженности

УДС. Нагрузка на УДС зависит, от интенсивности движения транспортных средств. С повышением интенсивности движения, увеличивается транспортный поток, без определения интенсивности движения, невозможно управлять, распределять и перераспределять транспортными потоками.

Городской округ Якутск проектировался без учета развития территорий и прогнозирования дорожной ситуации. Реконструкция и модернизация всей уличной сети в городе Якутск, невозможна, так как это влечет за собой множество материальных и нематериальных благ, в таком случае для предупреждения транспортных заторов, которое ведет к ДТП в городском округе Якутск необходимо ввести интеллектуальную транспортную систему (ИТС), виде умного светофора для регулирования транспортного потока. В этой статье рассматривается возможность внедрения интеллектуальной транспортной системы в виде умного светофора на перекрестках дорог с высокой интенсивностью движения.

Материалы и методы

Цель исследования в данной статье это определение интенсивности движения и состава транспортных потоков на улично-дорожной сети г. о. Якутск, для внедрения системы умных светофоров.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- 1) определены 78 транспортных узлов, для которых будет проводиться исследования;
- 2) выбраны интервалы времени видеосъемок, для обследования интенсивности и состава транспортных потоков;
- 3) заполнение электронной базы данных, с вычерчиванием карты улично-дорожной сети;
- 4) определены самые загруженные участки дорог и часы пик в городском округе Якутск, для дальнейшего внедрения системы умных светофоров.

Умным светофором принято называть светофор, которым управляет специальная программа, позволяющая устройству самостоятельно принимать решения, в том числе на основе поступающей информации о дорожном движении [9]. Из трех режимов работы светофора, нами было выбрано локальный тип, который учитывает часы пик. Этот режим работы светофора наиболее удобен для нашего городского округа. Основываясь на методику расчета интенсивности движения в соответствии с ГОСТ 32965-2014 [2].

Методика проведения обследования интенсивности и состава транспортных потоков на дорожной сети г. о. Якутск включала видеосъемку 78 транспортных узлов. На рисунке 1 показана карта исследования.

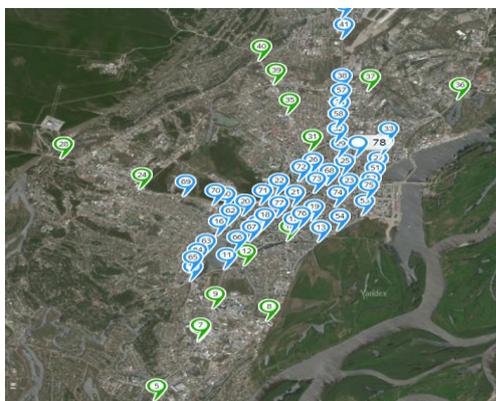


Рисунок 1 – Карта-схема обследования транспортных потоков [compiled by the authors]

В выбранный временной интервал на обследуемом транспортном узле на стационарный штатив устанавливалась видеокамера, в поле зрения которой попадали все измеряемые транспортные потоки. Видеосъемка проводилась в течение полного часа в периоды с 07.00 до 09.00 и с 17.00 до 19.00, дневной период времени с 12.00 до 15.00. При обработке отснятых видеоматериалов каждый обрабатываемый файл предварительно просматривается целиком, и в нем выбирался 15-минутный интервал с максимальной интенсивностью движения. Для выбранного 15-минутного интервала проводился подсчет количества проехавших транспортных средств в каждом регистрируемом направлении, при этом подсчитывался отдельно количество транспортных средств каждого типа, проехавших по каждому регистрируемому направлению (в прямом направлении, с левым поворотом, с правым поворотом, с разворотом). Результаты подсчета в течение 15-минутного интервала времени по каждому типу транспортных средств умножаются на 4 и заносятся в электронную форму базы данных.

Результаты

В данной статье мы рассмотрим результаты 2 узлов, которые имеют стратегически важное месторасположение. Это выезды из города в северной части в сторону аэропорта, восточной части.

Ниже на рисунке 2 показана карта-схема перекрестка 66 узла (перекресток улиц Ойуунского, Октябрьская и Пояркова). Цветными линиями показаны полосы движения, фиолетовыми линиями показаны пешеходные переходы, черными линиями обозначены сечения движения.

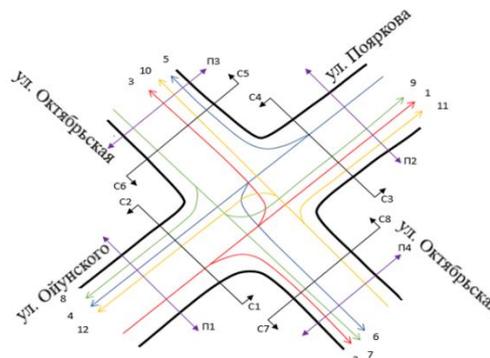


Рисунок 2 – Карта 66 узла [compiled by the authors]

В таблицах 1, 3 показаны результаты исследования транспортного потока 66 узла утренние замеры с 8.30 до 8.45, в таблицах 2, 4 показаны распределение транспортных средств по типам. А рисунки 3, 4 показывают диаграммы распределения интенсивности движения транспортных средств по типу транспортного средства, у утренние и вечерние часы.

В таблице 3 показаны результаты исследования транспортного потока 66 узла, вечерние замеры с 17.45 до 18.00

На рисунке 5 представлена карта 32 узла: перекресток улиц Дзержинского – Кальвица. Цветными линиями показаны полосы движения, черными линиями обозначены сечения движения.

В таблице 5 показаны результаты исследования транспортного потока 66 узла утренние замеры с 8.30 до 8.45. В таблицах 5, 7 показаны результаты исследования транспортного потока 32 узла в утренние и вечерние часы. В таблицах 6, 8 показаны распределение транспортных средств по типам. А на рисунках 6, 7 диаграммы распределения интенсивности движения транспортных средств утреннее и вечернее время.

В результате обследования транспортного потока городского округа Якутск, выяснилось, время с 8.30 до 9.00 и с 17.45 до 18.30 самые загруженные. Это объясняется тем, что это начало и конец рабочего дня, когда горожане, живущие в пригородной зоне, въезжают в центр и выезжают из центра.

Таблица 1 – Узел 66 перекресток улиц Ойуунского, Октябрьская и Пояркова (утро 8.30–8.45) [compiled by the authors]*

Участок УДС (№ направления)	Легковые авто- мобили и фургоны	Грузовые авто- мобили 2 оси	МВ	СВ	БВ-ОБВ	Приведенная интенсивность	Часовая интен- сивность, ТС/ час
Коэффициенты приведения	1	1,5	1	1,5	3		
1	128	2		3		136	542
2	12				1	15	60
3	13				1	16	64
4	166	3		2		174	694
5	12					12	48
6	12				1	15	60
7	37				5	52	208
8	15					15	60
9	13	1				15	58
10	34			8		46	184
11	10					10	40
12	8					8	32

*В таблице приняты обозначения: МВ, СВ, БВ-ОБВ – это автобусы малой, средней большой и очень большой вместительности соответственно.

Таблица 2 – Результаты интенсивности и распределение по типам транспортного средства (утро 8.30–8.45) [compiled by the authors]

Легковые автомобили и фургоны	Распределение по типам ТС						
	Грузовые автомобили			Автобусы			
	2 оси	3 оси	4 оси	2 оси + прицеп	МВ	СВ	БВ-ОБВ
94,46 %	1,23 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	2,67 %	1,64 %
460	6	0	0	0	0	13	8

Диаграмма распределения по типам ТС утро

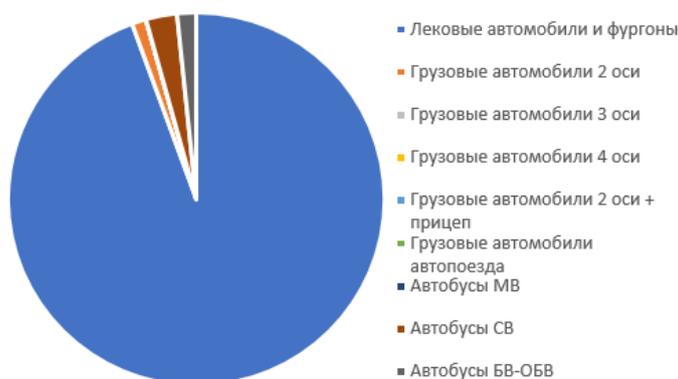


Рисунок 3 – Диаграмма распределения интенсивности движения транспортных средств (узел 66, утро 8.30–8.45) [compiled by the authors]

Таблица 3 – Узел 66 перекресток улиц Ойуунского, Октябрьская и Пояркова (вечер 17.45–18.00) [compiled by the authors]

Участок УДС (№ направления)	Легковые авто- мобили и фургоны	Грузовые автомобили				Автобусы			Приведенная интенсивность	Часовая интенсивность
		2 оси	3 оси	4 оси	2 оси + прицеп	МВ	СВ	БВ-ОБВ		
Коэффициенты приведения	1	1,5	2	2	2,2	1	1,5	3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	99	9			1		5	1	125	501
2	31		1				2		36	143
3	27	2							30	120
4	87	6					4		102	408
5	25	1							27	106
6	36							1	39	156
7	36	5					3	1	51	204
8	23	3							28	110

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	15								15	60
10	171	7					5		189	756
11	39								41	162
12	51	1							53	210

Таблица 4 – Результаты интенсивности и распределение по типам транспортного средства (вечер 17.45–18.00) [compiled by the authors]

Распределение по типам ТС							
Лековые автомобили и фургоны	Грузовые автомобили				Автобусы		
	2 оси	3 оси	4 оси	2 оси + прицеп	МВ	СВ	БВ-ОБВ
91,56 %	4,86 %	0,14 %	0,00 %	0,14 %	0,00 %	2,86 %	0,43 %
640	34	1	0	1	0	20	3

Диаграмма распределения по типам ТС вечер

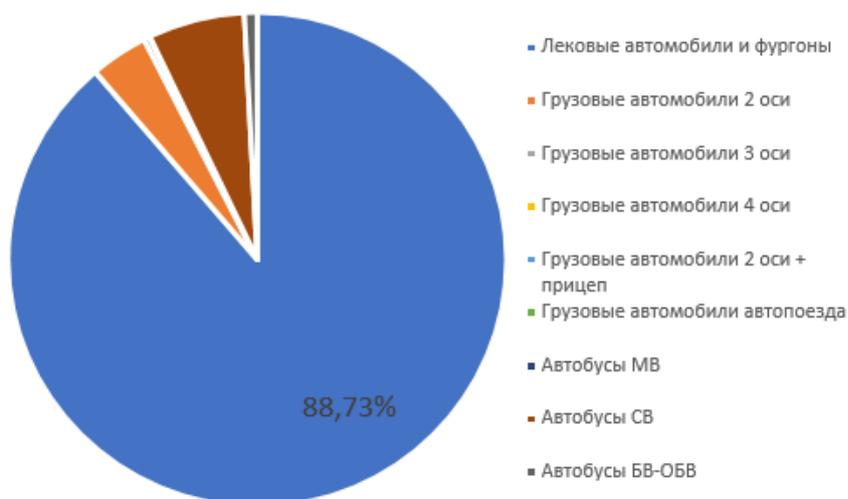


Рисунок 4 – Диаграмма распределения интенсивности движения транспортных средств (узел бб, вечер 17.45–18.00) [compiled by the authors]

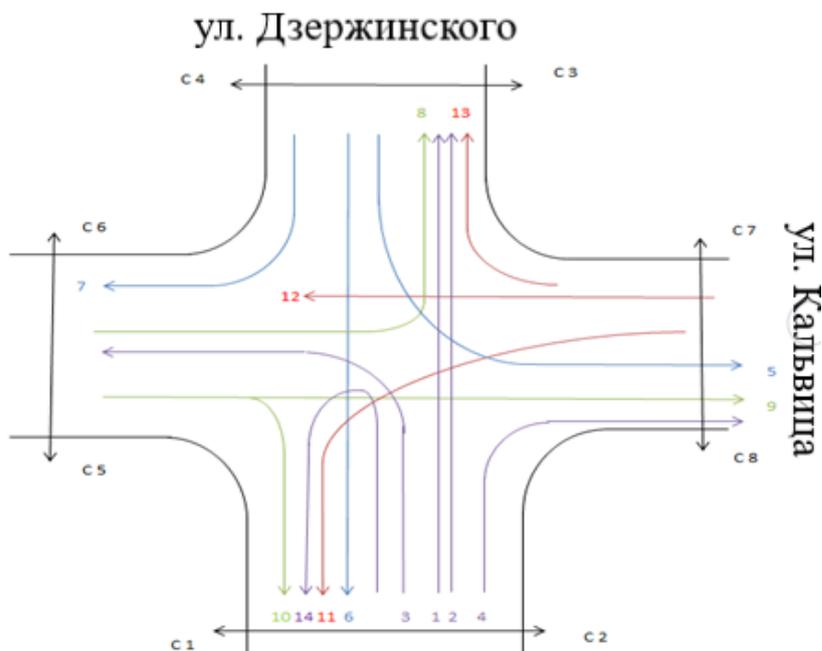


Рисунок 5 – Карта 32 узла [compiled by the authors]

Таблица 5 – Узел 32 перекрестки улиц Дзержинского и Кальвица (утро 8.30–8.45) [compiled by the authors]

Участок УДС (№ направления)	Лековые авто- моби и фургоны	Грузовые автомобили			Автобусы			Приведенная интенсивность	Часовая интенсив- ность ТС/ час
		2 оси	3 оси	4 оси	МВ	СВ	БВ-ОБВ		
Коэффициенты привидения	1	1,5	1,8	2	1	1,5	3		
1	118					1		120	478
2	113					6	3	131	524
3	51					3		56	222
4	74							74	296
5	17					5		25	98
6	125					2		128	512
7	33					2		36	144
8	6					5		14	54
9	53	1				1		56	224
10	40	1				1		43	0
11	20							20	80
12	67					4		73	292
13	8							8	32
14	7							7	28

Таблица 6 – Результаты интенсивности и распределение по типам транспортного средства (утро 8.30–8.45) [compiled by the authors]

Распределение по типам ТС							
Лековые автомобили и фургоны	Грузовые автомобили				Автобусы		
	2 оси	3 оси	4 оси	2 оси + прицеп	МВ	СВ	БВ-ОБВ
95,44 %	0,26 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	3,91 %	0,39 %	
732	2	0	0	0	0	30	3

Диаграмма распределения по типам ТС

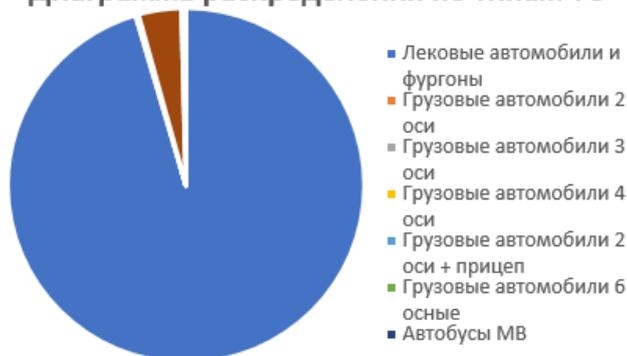


Рисунок 6 – Диаграмма распределения интенсивности движения транспортных средств (узел 32, утро 8.30–8.45) [compiled by the authors]

Таблица 7 – Узел 32 перекресток улиц Дзержинского (вечер 18.15–18.30) [compiled by the authors]

Участок УДС (№ направления)	Лековые авто- моби и фургоны	Грузовые автомобили				Автобусы			Приведенная интенсивность	Часовая интенсив- ность, ТС/ час
		2 оси	3 оси	4 оси	6 осей	МВ	СВ	БВ-ОБВ		
Коэффициенты привидения	1	1,5	1,8	2	2,7	1	1,5	3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	107						5		115	458
2	120						6	1	132	528
3	54						1		56	222
4	86						1		88	350
5	12						1		14	54
6	220						9		234	934

Окончание таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	42		1				3		48	193
8	24						2		27	108
9	83	1	2						88	352
10	58		1				2		63	251
11	37								37	148
12	60						4		66	264
13	18								18	72
14	10								10	40

Таблица 8 – Результаты интенсивности и распределение по типам транспортного средства (вечер 18.15–18.30) [compiled by the authors]

Распределение по типам ТС					
Лековые автомобили и фургоны	Грузовые автомобили			Автобусы	
	2 оси	3 оси	МВ	СВ	БВ-ОБВ
95,88 %	0,10 %	0,41 %	0,00 %	3,50 %	0,10 %
931	1	4	0	34	1

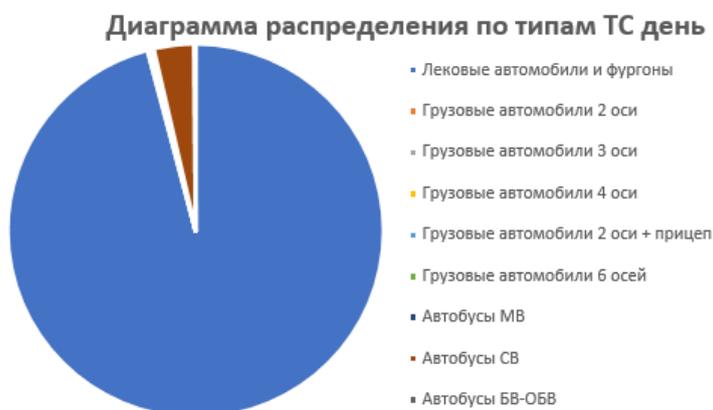


Рисунок 7 – Диаграмма распределения интенсивности движения транспортных средств (узел 32, вечер 18.15–18.30) [compiled by the authors]

Еще не мало важный фактор играет режим работы светофора для пешеходов. Так как прежний режим работы не рассчитан на высокую интенсивность движения транспортных средств, создается искусственный затор, когда во время движения пешеходов поворачивающие направо транспортные средства стоят, и вся правая полоса движения стоит. Это явление особенно заметно в вечерние часы пик. Чтобы избежать такой проблемы в г. Якутске нужна система умных светофоров. Светофор, который будет связан с компьютером и работать в одном из трех режимах локальный режим, координированное управление и адаптивный режим. Таким светофором управляет программа [8–11], которая позволяет ему как самому принимать решения, и действует синхронно с другими светофорами. Такие умные светофоры есть в Москве.

Обсуждение

Определение интенсивности движения (λ) транспортных потоков и определение его состава является трудоемким процессом.

Изменение интенсивности транспортного потока транспортных средств приводит к изменению скорости, интервалов и плотности. Для транспортных потоков различной интенсивности используется три функции распределения временных интервалов между последовательными автомобилями. В случае полностью связанного потока используется универсальный закон распределения – закон Пирсона III типа [7].

Исходя из работ Капитанова В. Т. и Хилажев Е. Б. изменение мгновенной интенсивности при $\lambda < \lambda_b$ (высокая интенсивность) на стадии распада группы транспортного потока можно описать следующим выражением:

$$\lambda(t) = \lambda_0 \cdot \theta^{-k \cdot t}, \quad (1)$$

где λ_0 – интенсивность движения на выходе с перекрестка; k – коэффициент приведения; t – время проезда.

Чтобы описать, как меняется мгновенная интенсивность, обращаясь к работе Е. А. Петрова, среднее значение интенсивности λ_c (когда $\lambda > \lambda_b$) выражение (1) может быть как:

$$\lambda_c(t) = \begin{cases} \lambda_o \cdot e^{-k \cdot t} & \text{при } 0 < t \leq t_{np} - t_T; \\ \frac{\lambda_o}{t_T} \left[1 - e^{-k \cdot (t_{np} - t_T)} \right] \cdot (t_T - t_{np}) & \text{при } t_{np} - t_T < t \leq t_{np}, \end{cases} \quad (2)$$

где $t_{np} = \text{const}$ – время движения по перегону при v (скорость движения); t_T – время торможения (формирования группы транспортного средства).

При изменении свойств транспортного потока при любых интенсивностях движения $\lambda > \lambda_b$, для расчета программ координации и для управления транспортными потоками выражение (2) можно записать как:

$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_o e^{-k \cdot t}, & \text{при } 0 \leq t \leq t_{np} - t_T \text{ и } \lambda < \lambda_b; \\ \frac{\lambda_o}{t_T} \left[1 - e^{-k \cdot (t_{np} - t_T)} \right] \cdot (t_T - t_{np}) + \lambda_o, & \text{при } t_{np} - t_T < t \leq t_{np} \text{ и } \lambda < \lambda_b; \\ \lambda(t) = \text{const}, & \text{при } \lambda \geq \lambda_b. \end{cases} \quad (3)$$

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы: транспортный затор напрямую связан с уровнем автомобилизации, наиболее рациональным решением проблемы транспортного затора, является применение ИТС, результаты данного исследования легли в основу отчета по научно-исследовательской работе «Разработка документов транспортного планирования в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Первый этап для решения дорожно-транспортной проблемы в городе Якутск нами выполнен, далее будет изучаться вопрос внедрения ИТС в городе Якутск.

Литература

1. Гендлер, С. Г. Оценка загрязнения атмосферного воздуха при строительстве и эксплуатации транспортных туннелей / С. Г. Гендлер, В. А. Рогалев // Записки горного института, 2012. – С. 195–129.
2. Автомобильные дороги общего пользования. Методы учета интенсивности транспортного потока: ГОСТ 32965-2014.
3. Денисов, В. Н. Обоснование целесообразности инноваций в обеспечении безопасности городских транспортных средств / В. Н. Денисов // Материалы межведомственной научно-практической конференции «Общественная безопасность в сфере дорожного движения: профессиональная подготовка и организационно-правовые инструменты», Санкт-Петербург, 26–27 февраля 2021 г.
4. Жанказиев, С. В. Интеллектуальные транспортные системы / С. В. Жанказиев // МАДИ, Москва. – 2016.

5. Жданов, В. Л. Организация и безопасность дорожного движения / В. Л. Жданов. – Кемерово: КузГТУ, 2012.

6. Иносе, Х. Управление дорожным движением / Х. Иносе, Т. Хамада // Транспорт. – Москва, 1983.

7. Петров, Е. А. Моделирование транспортного потока высокой интенсивности / Е. А. Петров // Омский научный вестник. – 2002.

8. Логинов, А. В. Методы успокоения движения транспортных потоков с использованием средств автоматической фиксации нарушений: материалы XI Международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения» / А. В. Логинов, С. А. Ульрих, Д. Ю. Каширский // Тюменский индустриальный университет, Тюмень, 15 марта 2018 г.

9. Писарева, О. М. Развитие интеллектуальных транспортных систем в Российской Федерации: определение требований и организация создания полигонов для тестирования информационной безопасности / О. М. Писарева // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – № 13 (5). – 2020. – С. 55–60.

10. Петрушин, В. А. Разработка программного обеспечения на основе нейронной сети для оптимизации и анализа дорожного движения / В. А. Петрушин, П. Ю. Бугаков // Интерэкспо Гео-Сибирь. – № 7 (1). – 2020. – С. 93–98.

11. Рябцев, А. С. Проекты цифровизации в транспортной системе Московской агломерации / А. С. Рябцев // Транспортный вестник. – № 4. – 2021. – С. 17–19.

IOVLEVA Elizabeth L., Ph.D. in Eng., Ass. Prof.,
head of the Department of «Machine Science»¹
E-mail: elizaveta-iovleva@yandex.ru

FILIPPOVA Nnadezhda A., Sc. in Eng., Ass. Prof.,
professor of the Department of «Automobile Transportation»²
E-mail: umen@bk.ru

KURENKOV Peter V., Sc. in Econ., Prof.,
professor of the Department «Transport Business Management and Intelligent Systems»³
E-mail: info@rut-miit.ru

VAKULENKO Sergei P., Ph.D. in Eng., Prof.,
director of the Institute of Management and Digital Technology³
E-mail: info@rut-miit.ru

¹FGAOU VO «North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov»
(NEFU named after M.K. Ammosov), Yakutsk, Russia

²Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)

³Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

Received 13.05.2022

INTRODUCTION OF SMART TRAFFIC LIGHTS AS A FACTOR OF TRAFFIC SAFETY ON THE STREETS OF YAKUTSK

Improving road safety aimed at preserving the life, health and property of citizens of the Russian Federation is one of the priorities of state policy and an important factor in ensuring sustainable socio-economic and demographic development of the country. As statistics show, most of the road accidents occur during heavy traffic. According to the federal project "Road Safety" by 2030, the number of deaths in road accidents per 100 thousand. the population, people should decrease to 4 people. The purpose of this article is to identify the most intensive traffic areas for the subsequent implementation of an intelligent transportation system. The city of Yakutsk is the largest city in the Republic of Sakha (Yakutia), respectively, most of the road accidents occur in the city. Within the framework of the national project "Safe and high-quality auto-mobile roads" in the city, the intensity of traffic was studied for the possible introduction of intelligent transport systems. The novelty of the work is that in the Republic of Sakha (Yakutia), for the first time, the intensity of vehicle traffic will be determined, for the organization of management approaches and methods for managing traffic flows and their distribution. This is possible with the help of integration in the work on regulating the movement of traffic flows – intelligent transport systems. This article shows the results of traffic intensity in two transport hubs out of 78 transport hubs in the Yakutsk city district. The first node is the intersection of Oktyabrskaya – Oyunsky – Poyarkov streets. The second node is the intersection of Dzerzhinsky – Kalvitsa streets. As studies have shown, the most intensive time periods were in the morning from 8.30 to 9.00 and in the evening from 17.45 to 18.30. Traffic intensity was determined according to the GOST 32965-2014 methodology, measurements were made in the morning, afternoon and evening hours. Then the interval with the most intense traffic was determined for each point.

Keywords: traffic intensity, traffic flows, smart traffic light.

References

1. Gendler S. G., Rogalev V. A. (2012) Assessment of air pollution during the construction and operation of transport tunnels. Notes of the Mining Institute. – P. 195–129.
2. GOST 32965-2014 «Automobile roads for general use. Methods for accounting for the intensity of traffic flow».
3. Denisov V. N. (2020) Substantiation of the feasibility of innovations in ensuring the safety of urban vehicles. In: Materials of the interdepartmental scientific and practical conference, Public safety in the field of road traffic: professional training and organizational and legal tools, St. Petersburg, February 26–27, 2021
4. Zhankaziev, S. V. (2016) Intelligent transport systems. MADI, Moscow
5. Zhdanov V. L. (2012) Organization and traffic safety. KuzGTU, Kemerovo
6. Inose X, Hamada T. (1983) Traffic management. Transport, Moscow.
7. Petrov, E. A. (2002). Simulation of traffic flow of high intensity. Omsk Scientific Bulletin.
8. Loginov A. V., Ulrikh S. A., Kashirskiy D. Yu. (2018) Methods of calming the movement of traffic flows using the means of automatic recording of violations. In: Materials of the XI International Scientific and Practical Conference, Organization and Road Safety, Tyumen Industrial University, Tyumen, March 15, 2018
9. Pisareva O. M. (2020) Development of intelligent transport systems in the Russian Federation: defining requirements and organizing the creation of information security testing grounds. Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. Economic sciences. 13 (5). P. 55–60.
10. Petrushin V. A., Bugakov P. Yu. (2020) Development of software based on a neural network for optimization and analysis of road traffic. Interexpo Geo-Siberia 7 (1). P. 93–98.
11. Ryabtsev A. S. (2021) Projects of digitalization in the transport system of the Moscow agglomeration. Transport Herald 4. P. 17–19.

УДК 654.028.3; 629.05

ГУРСКИЙ А. С., канд. техн. наук, доцент,
зав. каф. «Техническая эксплуатация автомобилей»
E-mail: asgurski@bntu.by

СЕДЯКО П. В.,
аспирант
E-mail: tea_atf@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.07.2022

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ ПРОТОКОЛОВ ОБМЕНА ШИН ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ

Системы обмена данными между электронными блоками управления современных транспортных средств и с внешними диагностическими устройствами претерпевают огромные изменения, что зачастую приводит к серьезным трудностям при выполнении диагностирования. Использование универсальных диагностических средств зачастую не позволяет выявить отдельные причины неисправности, так как отсутствуют в перечне доступных отдельные параметры, что требует применения специализированных устройств. Методы реверс-инжиниринга являются прекрасным инструментом в тех случаях, когда разработка устройства или программного продукта требуют наличия документации, описывающей существующие протоколы связи различных устройств. В данной статье представлено описание некоторых особенностей шины K-line и методов расшифровки текущих параметров ЭБУ при отсутствии документации, которые были получены в

ходе проведения экспериментов при работе с шиной K-line. Результаты проделанной работы могут быть полезны для обучения, диагностирования, а также проведения исследований при работе с K-line или схожими шинами передачи данных (CAN, LIN шина и др.). В качестве аппаратного обеспечения были использованы: микроконтроллер Arduino Nano и преобразователь уровней на основе сдвоенного компаратора LM 293. В качестве программного обеспечения была использована программа Free Serial Port, а та же среда разработки Arduino IDE, в которой была написана программа для чтения процесса обмена между диагностическим сканером и ЭБУ. Для экспериментов и анализа демонстрационного испытания, собранное устройство было подключено к учебному стенду, собранному на базе ЭБУ Bosch 7.9.7.

Ключевые слова: K-line, реверс-инжиниринг, программирование, Ардуино, расшифровка данных.

Введение

Начальные стадии разработки различных устройств и программ порой требуют знания и понимания принципов работы, что при отсутствии необходимой документации затрудняет этот процесс. Методы реверс-инжиниринга в таких ситуациях являются отличными помощниками для установления алгоритма работы устройств или их протокола связи.

K-Line реализация в автомобиле

K-Line представляет собой однопроводную двунаправленную шину, предназначенную для связи между ЭБУ автомобиля и диагностическим оборудованием, а также блоком иммобилайзера.

Процесс обмена данными по шине K-Line заключается в создании диагностическим оборудованием и различными блоками управления автомобиля запросов, и ответов на данные запросы соответственно. Запросы и ответы формируются в виде двоичного кода, где лог. 0 –

это потенциал 0 Вольт, а лог. 1 это 12 В на проводе K-Line диагностической колодки OBD-II. Физический принцип формирования лог. 0 и лог. 1 условно представлен на рисунке 1 [6].

ЭБУ, будучи способным определять потенциал на проводе K-Line относительно массы кузова автомобиля, воспринимает запросы, создаваемые диагностическим сканером. Диагностический сканер имеет ключ, который способен создавать на проводе K-Line потенциал 0 В или 12 В с определенной последовательностью соединяя контакт K-Line диагностического разъема с минусовой клеммой автомобиля или на контакт питания 12 В, тем самым формируя запрос диагностического сканера (рисунок 1) [7].

ЭБУ, воспринимая запрос сканера формирует ответ тем же способом что и сканер формирует запрос. Для безопасного (исключения короткого замыкания) формирования запросов (исключения короткого замыкания) и ответов в ЭБУ предусмотрен резистор для ограничения тока.

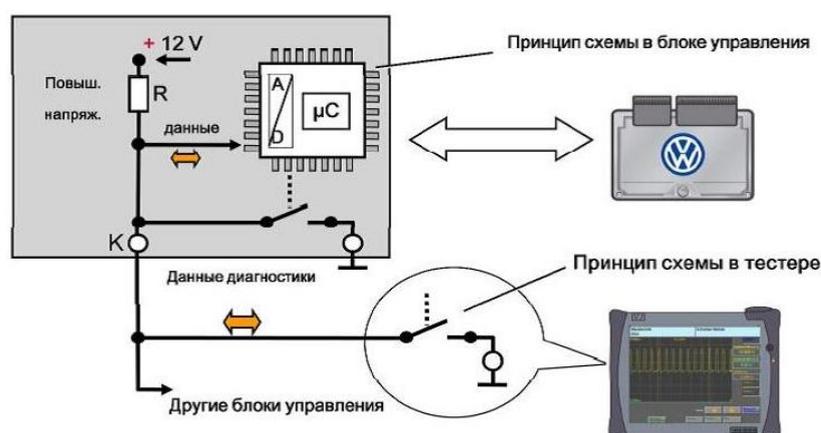


Рисунок 1 – Принцип коммуникации с помощью K-Line

Подключение к шине и чтение данных

Для «подслушивания» процесса обмена данными между ЭБУ двигателя и диагностическим сканером можно использовать два способа.

Первый способ наиболее простой и подходит в тех случаях, когда диагностический ска-

нер, используемый для данной работы, подключается посредством COM порта или USB порта с имитацией COM порта. Способ состоит в том, чтобы использовать программы, позволяющие проследить процесс обмена данными через подключенный COM порт, например, программу Free Serial Port Monitor (рисунок 2).

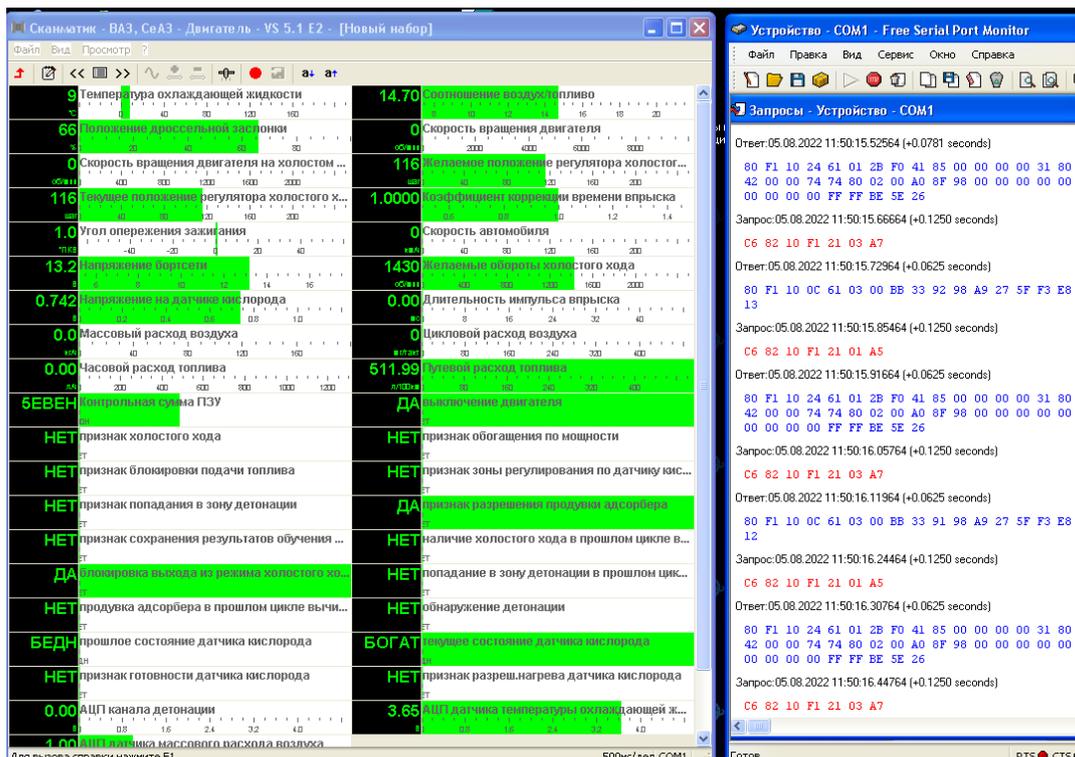


Рисунок 2 – Пример работы программы для чтения COM порта

В тех случаях, когда первый способ не годится, можно воспользоваться следующим. Для «подслушивания» протокола обмена можно использовать микроконтроллер Arduino или любой другой, вместе с устройством для согласования логических уровней, например, на базе двоянного компаратора (рисунок 3). Также

необходимо написать программу для возможности комфортного «подслушивания» процесса обмена данными, чтобы легко было соотнести данные, полученные с помощью Arduino и диагностического сканера. Пример такой программы представлен ниже.

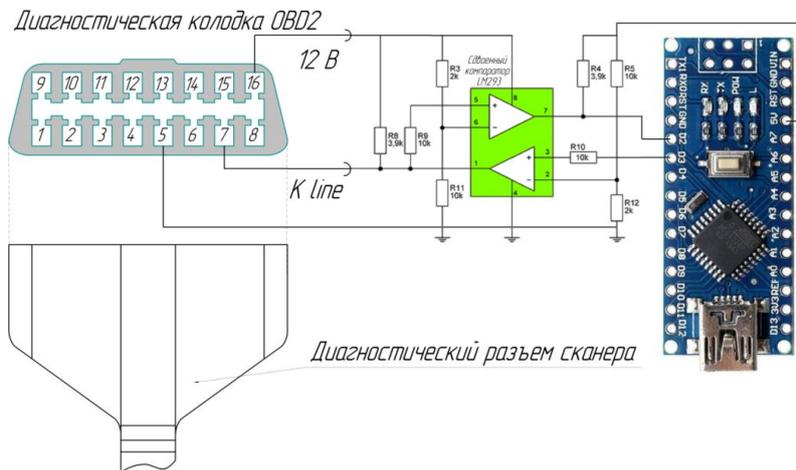


Рисунок 3 – Схема подключения к диагностической колодке

```
#include <SoftwareSerial.h> // Подключаем библиотеку SoftwareSerial для общения с модулем по
программной шине UART
SoftwareSerial softSerial(2,3); //настройка портов RX, TX
byte buffer[64]; // массив [размер массива]
byte data,bufSize,i,v;
unsigned long tt;
void setup() {
  pinMode(2, INPUT); //K_line_RX на микроконтроллере
  pinMode(3, OUTPUT); //K_line_TX на микроконтроллере
  softSerial.begin(10400); //настраиваем скорость порта для K line
```

```

Serial.begin(19200); // скорость должна быть, больше чем в шине K line чтобы Ардуино успе-
вал обрабатывать запросы и ответы)
}
void loop() {
  bufSize = 0;
  if (millis()-tt>20 ) { //если с отправки последнего сообщения прошло больше 20 мсек то вы-
полняем проверку
    if (v==1) { goto метка; } // проверка на то, что был ли переведен курсор, если да, то переме-
щаемся по метке и не переводим курсор на новую строку
    Serial.println(); //перевод курсора на следующую строку
    v=1; // пометка, что перевели курсор на след строку
  }
  метка:
  if(softSerial.available(>0) ) { //проверяем пришло ли что-нибудь в буфер
    bufSize = softSerial.available(); //присваиваем переменной количество байт в буфере
    for (i = 0; i < bufSize; i++) { //проходимся по буферу и выводим то, что в него пришло
      buffer[i] = softSerial.read(); //Serial.read() берет первый байт из очереди, считывает его и
удаляет. При следующем вызове Serial.read будет доступен следующий байт в очереди.
      Serial.print(buffer[i],HEX); // выводим i-й байт из буфера в шестнадцатеричном виде
      Serial.print(« »); //разделяем символы пробелом
    }
    tt=millis(); v=0; // обнуляем метку т. к. пришло новое сообщение
  }
}
}

```

Запросы и ответы

Процесс обмена данными, как упоминалось выше представлен инициализацией перед нача-

лом обмена данными, а после отправка запросов диагностическим сканером и ответов на данные запросы (рисунок 3).



Рисунок 3 – Процесс обмена данными по шине K-Line

В зависимости от задач диагностический сканер может осуществлять различные запросы, такие как:

1) startCommunication (STC), инициализирует процесс обмена данными между диагностическим тестером и контроллером;

2) stopCommunication (SPC), завершает процесс обмена данными между диагностическим тестером и контроллером;

3) startDiagnosticSession (STDS), используется, чтобы начать сеанс диагностического обмена данными между блоком управления и тестером, и позволяет тестеру выбрать различные режимы диагностического обмена. Сеанс диагностики может начаться, только если предварительно была разрешена коммуникационная сессия;

4) stopDiagnosticSession (SPDS), используется чтобы закрыть текущий режим диагностического обмена данными;

5) ecuReset (ER), для выполнения сброса блока управления;

6) clearDiagnosticInformation (CDI), чтобы стереть коды неисправностей в памяти блока управления;

7) readDiagnosticTroubleCodesByStatus (RDTCSB), чтобы считать коды неисправностей, сохраненные в памяти блока управления вместе с их статусом;

8) readEcuIdentification (REI), для запроса идентификационных данных из блока управления;

9) readDataByLocalIdentifier (RDBLI), позволяет тестеру запросить у блока управления набор данных, поставленный в соответствие конкретному значению параметра;

10) readMemoryByAddress (RMBA), позволяет тестеру запросить из памяти блока управления набор данных, определенной длины, начиная с конкретного адреса;

11) inputOutputControlByLocalIdentifier (IOCBLI), используется тестером, чтобы иметь возможность управления и контроля входов/выходов и некоторыми внутренними переменными блока управления;

12) writeDataByLocalIdentifier (WDBLI), позволяет тестеру записать в блок управления некоторые данные, набор которых, определяется значением параметра;

13) testerPresent (TP), должна использоваться, чтобы тестер мог сообщить блоку управления о своем присутствии на диагностической линии связи. Требуется, чтобы предотвратить возврат блока управления к нормальному режиму работы при отсутствии обмена данными, в течение некоторого времени.

ЭБУ же в свою очередь на данные запросы должен дать ответ. Ввиду того что структура большинства ответов на вышеописанные запросы схожи с ответами, примеры которых представлены в документе KWP 2000 (Keyword Protocol 2000), то наибольший интерес в расшифровке представляют ответ, содержащий текущие параметры системы управления двигателем (температура двигателя, напряжение бортовой сети, длительность импульса впрыска и др.).

Запрос на получение текущих параметров для ЭБУ Bosch 7.9.7 и соответствующий ответ выглядят следующим образом (таблица 1).

Таблица 1 – Запросы и ответы ЭБУ Bosch 7.9.7

Время	Запросы и ответы	Пояснения
15:35:32.203	81 10 F1 81 3	startCommunication
15:35:32.203	83 F1 10 C1 EF 8F C3	Положительный ответ на запрос
15:35:32.296	82 10 F1 21 1 A5	Запрос на получение текущих параметров
15:35:32.343	83 F1 10 7F 81 11 95	Отрицательный ответ
15:35:32.390	82 10 F1 21 1 A5	Запрос на получение текущих параметров
15:35:32.390	80 F1 10 4A 61 1 0 4C 4C 63 A3 0 1A 00 00 0 10 AA 85 40 00 7D 5C 0 0 00 7D 80 0 F C0 00 D0 00 00 0 00 00 00 0 0 00 00 D3 AF 00 61 0 0 00	Положительный ответ с самими данными
15:35:32.531	82 10 F1 21 1 A5	Запрос на получение текущих параметров
15:35:32.531	80 F1 10 4A 61 1 0 4C 4C 63 A3 0 1A 00 00 0 10 AA 85 40 00 7D 5C 0 0 00 7D 80 0 F C0 00 D0 00 00 0 00 00 00 0 0 00 00 D3 AF 00 61 0 0 00	Положительный ответ с самими данными

Расшифровка полученных данных

Перед расшифровкой полученных данных можно сделать несколько предположений сделанных на основе анализа документа KWP 2000 (Keyword Protocol 2000) а также проведенных опытов:

– порядок следования текущих параметров в программе диагностического сканера и порядок следования байт сообщения как правило одинаковы;

– если переменная может находиться в достаточно большом диапазоне значений (более 255) или имеет высокую точность (в имеющемся диапазоне с данной точностью имеет более 255 значений переменной), то для хранения значения такой переменной используется 2 байта;

– если переменная дробная, то используется коэффициент для разбивки диапазона переменной на 255 значений с необходимой точностью, видно по таблице 2;

– если значение переменной выходит за пределы от 0 до 255, то используется смещение

(прибавляется или отнимается некая постоянная величина), видно по таблице 2.

На основании вышеизложенных предположений несложно догадаться, что значение параметра, которому для хранения нужен только 1 байт сводится к следующей формуле:

$$N = E_{DEC} \cdot a + b, \quad (1)$$

где E_{DEC} – передаваемый байт, содержащий значение параметра преобразованный из HEX формата в DEC;

a – коэффициент для повышения точности значения параметра;

b – смещение диапазона параметра.

Из выражения (1), видно, что имеется 2 неизвестных значения. Для решения такого уравнения необходима система из двух уравнений (2).

Таблица 2 – Пример некоторых формул для определения значения параметров

Байт данных	Наименование параметра	Значение HEX	Формула
#1	Положительный ответ readDataByLocalIdentifier	61	нет
#2	endOfLineServiceRecordLocalIdentifier	02	нет
...
#7	Температура охлаждающей жидкости	XX	$N=E-40$ [°C]
#8	Соотношение воздух/топливо	XX	$N=14.7*(E+128)/256$
#9	Положение дроссельной заслонки	XX	$N=E$ [%]
#10	Скорость вращения двигателя	XX	$N=E*40$ [об/мин]
#11	Скорость вращения двигателя на холостом ходу	XX	$N=E*10$ [об/мин]
#12	Текущее положение регулятора холостого хода	XX	$N=E$ [шагов]
#13	Коэффициент коррекции времени впрыска	XX	$N=(E+128)/256$

$$\begin{cases} N_1 = E_{1DEC} \cdot a + b; \\ N_2 = E_{2DEC} \cdot a + b, \end{cases} \quad (2)$$

где N_1, N_2 – значение интересующего параметра по показаниям диагностического сканера;

E_{1DEC}, E_{2DEC} – передаваемый байт преобразованный из HEX формата в DEC;

a – коэффициент для повышения точности значения параметра;

b – смещение диапазона параметра.

После несложных преобразований коэффициенты a и b будут равны

$$a = \frac{N_2 - N_1}{E_{2DEC} - E_{1DEC}}; \quad (3)$$

$$b = N_1 - E_{1DEC} \cdot a = N_1 - E_{1DEC} \cdot \frac{N_2 - N_1}{E_{2DEC} - E_{1DEC}}. \quad (4)$$

В случае если имеем дело с параметром, которому для хранения необходимо 2 байта, то записывается такой параметр в позиционной системе счисления по основанию 256:

$$N = \sum_n^{n-1} A_i \cdot 256^i = A_0 \cdot 256^0 + A_1 \cdot 256^1 + A_2 \cdot 256^2 + \dots + A_{n-1} \cdot 256^{n-1}, \quad (5)$$

Таблица 3 – Определение коэффициентов a и b

Описание	HEX	Значение	HEX	Значение	a	b
Адрес передатчика	80		80			
	F1		F1			
Адрес приемника	10		10			
	4A		4A			
Положительный ответ за запрос	61		61			
Код запрашиваемых данных	01		01			
Число ошибок	01	1	0	0	1	0
Температура охлаждающей жидкости при пуске, °C	4C	9	4B	8,25	0,75	-48
Температура охлаждающей жидкости, °C	4C	9	4B	8,25	0,75	-48
Температура впускного воздуха, °C	61	24,75	5C	21	0,75	-48
Напряжение бортсети, В	A3	12,1	A9	12,4	0,08	-0,94
Скорость автомобиля, км/ч	0	0	10	20	1,25	0
Угол открытия дроссельной заслонки, град.	1A	10,2	1E	12	0,45	-1,5
Частота вращения коленвала, об/мин	0	0	19	100	40	0

где A_i – набор целых чисел, каждое из которых лежит в интервале от 0 до 255, являющийся последовательностью байтов, составляющих N . При этом A_0 называется младшим байтом, а A_{n-1} – старшим байтом числа N .

Формула для определения такого параметра выглядит следующим образом.

$$N = (E_{DEC}^{младш.} + E_{DEC}^{старш.} \cdot 256) \cdot a + b. \quad (6)$$

Значения a и b в таком случае будут равны

$$a = \frac{N_2 - N_1}{(E_{2DEC}^{младш.} + E_{2DEC}^{старш.} \cdot 256) - (E_{1DEC}^{младш.} + E_{1DEC}^{старш.} \cdot 256)},$$

$$b = N_1 - (E_{1DEC}^{младш.} + E_{1DEC}^{старш.} \cdot 256) \cdot a.$$

Таким образом соотнеся значения параметров согласно диагностическому сканеру и значения, полученные с помощью подслушивания процесса обмена два раза и различными значениями параметров, можно определить значения коэффициентов a и b . В таблице 3 приведена часть параметров с коэффициентами для их расчета.

Заключение

1. Предложенный способ позволяет из системы передачи данных, имеющих определенный протокол, выделять и читать необходимый перечень фактических параметров для дальнейшей обработки, что в свою очередь дает возможность решать, как эксплуатационные, так и диагностические задачи.

2. Результаты работы могут быть применены при диагностировании и ремонте шины K-line, для углубленного изучения шин передачи данных автомобиля, для понимания внутренних процессов, происходящих при работе с диагностическим сканером или при разработке систем и устройств на базе K-line или других шин передачи данных.

Литература

1. Гурский, А. С. Современные технологии диагностирования электронных систем управления автомобилем / А. С. Гурский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 7-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 31.

2. Интеллектуальные системы управления автомобилем: лабораторный практикум для студентов специальностей 1-37 01 07 «Автосервис» и направления специальности 1-37 01 06-01 «Техническая эксплуатация автомобилей (автотранспорт общего и личного пользования)» : в 3 ч. / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей» ; сост.: А. С. Гурский, Е. Л. Савич, В. С. Смольская. – Минск: БНТУ, 2021. – Ч. 3. – 52 с.

3. Рокош, У. Бортовая диагностика / У. Рокош // пер. с нем. «ОООСтарСПб». – М. : За рулем, 2013. – 224с.

4. Савич, Е. Л. Легковые автомобили: учебник / Е. Л. Савич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 2022. – 758 с.

5. Седяко, П. В. Система обмена информацией микроконтроллера / П. В. Седяко; науч. рук. А. С. Гурский // НИРС-2019 : материалы 75-й студенческой научно-технической конференции / редкол.: А. С. Поварехо (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 89–93.

6. АПРИОРИ-ЭКСПЕРТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://apriori-expert.com/node/106>. – Дата доступа: 25.04.2022.

7. Volkswagen Technical Site. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vwts.ru>. – Дата доступа: 21.04.2022.

8. Dudom [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dudom.ru/kompjutery/protokol-k-line-opisanie>. – Дата доступа: 12.03.2022.

9. EASYELECTRONICS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forum.easyelectronics.ru/viewtopic.php?f=17&t=30071>. – Дата доступа: 25.05.2022.

10. Gyver, A. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alexgyver.ru/lessons>. – Дата доступа: 13.03.2022.

11. Arduino.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.ru/Reference>. – Дата доступа: 02.04.2022.

12. Седяко, П. В. Средства изучения CAN шины автомобиля / П. В. Седяко ; науч. рук. А. С. Гурский // НИРС-2021 : материалы 77-й студенческой научно-технической конференции / редкол.: А. С. Поварехо [и др.] ; под общ. ред. А. С. Поварехо ; сост. А. С. Поварехо. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 93–103.

GURSKY Alexandr S., Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,
head of the department «Technical operation of vehicles»
E-mail: ASGURSKI@bntu.by

SEDZIAKA Pavel V.,
Postgraduate student
E-mail: tea_atf@bntu.by
Belarusian National Technical University, Minsk

Received 05.07.2022

REVERSE ENGINEERING OF EXCHANGE PROTOCOLS DATA BUS OF ELECTRONIC CONTROL UNITS

Communication systems between the electronic control units of modern vehicles and with external diagnostic devices are undergoing tremendous changes, which often leads to serious difficulties in diagnosing. The using of universal diagnostic tools often does not allow identifying individual causes of a malfunction, since there are no individual parameters in the list of available ones, which requires the use of specialized devices. Reverse engineering is an excellent tool in cases where the development of a device or software product requires documentation describing the existing communication protocols of various devices. This article provides a description of some features of the K-line bus and methods for decoding the current parameters of the ECU in the absence of documentation that were obtained during experiments when working with the K-line bus. The results of the work done can be useful for training, diagnosing, as well as conducting research when working with K-line or similar data transmission buses (CAN, LIN bus, etc.). The following were used as hardware: the Arduino Nano microcontroller and a level converter based on the LM 293 dual comparator. The Free Serial Port program was used as the software, and the same Arduino IDE development environment in which the program was written to "eavesdrop" on the exchange process between the diagnostic scanner and the computer. For experiments and analysis of the demonstration test, the assembled device was connected to a training stand assembled on the basis of the Bosch 7.9.7 ECU.

Keywords: K line, programming, Arduino, data decoding.

References

1. Gursky, A. S. Modern technologies for diagnosing electronic vehicle control systems / A. S. Gursky // Science – education, production, economics: materials of the 7-th International scientific and technical conference. – Minsk: BNTU, 2009. – P. 31.
2. Intelligent vehicle control systems: a laboratory workshop for students of specialties 1-37 01 07 «Car service» and areas of specialty 1-37 01 06-01 «Technical operation of vehicles (public and private vehicles)» : at 3 hrs / Belarusian national Technical University, Department of «Technical operation of vehicles»; compiled by: A. S. Gursky, E. L. Savich, V. S. Smolskaya. – Minsk: BNTU, 2021. – Part 3. – 52 p.
3. Rokosh, U. Onboard diagnostics. Translation from germ. «OOOStarSPb». – M. : Behind the wheel, 2013. – 224 p.
4. Savich, E. L. Cars: textbook / E. L. Savich. – 2nd ed., revised. and additional. – Moscow: IN-FRA-M, 2022. – 758 p.
5. Sedyako, P. V. Microcontroller information exchange system / P. V. Sedyako; supervisor A. S. Gursky // NIRS-2019 : materials of the 75th student scientific and technical conference / editorial board: A. S. Povarekho (editor-in-chief) [et al.]. – Minsk: BNTU, 2019. – P. 89–93.
6. APRIORI-EXPERT [Electronic resource]. – Access mode: <http://apriori-expert.com/node/106>. – Access date: 25.04.2022.
7. Volkswagen Technical Site. [Electronic resource]. – Access mode: [http:// https://vwts.ru](http://https://vwts.ru). – Access date: 21.04.2022.
8. Dudom [Electronic resource]. – Access mode: <https://dudom.ru/kompjutyery/protokol-k-line-descri-ption>. – Access date: 12.03.2022.

9. EASYELECTRONICS [Electronic resource]. – Electronic data. – Access mode: <http://forum.easyelectronics.ru/viewtopic.php?f=17&t=30071>. – Access date: 25.05.2022.

10. Gyver A. [Electronic resource]. – Access mode: <https://alexgyver.ru/lessons>. – Access date: 13.03.2022.

11. Arduino.ru [Electronic resource]. – Access mode: <http://arduino.ru/Reference>. – Access date: 02.04.2022.

12. Sedyako, P. V. Methods of study vehicle can bus / P. V. Sedyako; supervisor A. S. Gursky // NIRS-2021 : materials of the 77th student scientific and technical conference / editorial board: A. S. Povarekho [et. al.]; under total ed. A. S. Povarekho; comp. A. S. Povarekho. – Minsk: BNTU, 2021. – P. 93–103.

УДК 656.13

ЧИКИШЕВ Е.М. канд. техн. наук, доц.,
доцент каф. «Эксплуатация автомобильного транспорта»
E-mail: chikishev_e@mail.ru

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Поступила в редакцию 16.05.2022

ВЛИЯНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАСХОД ТОПЛИВА АВТОБУСА МАЛОЙ ВМЕСТИМОСТИ

В работе представлен эксперимент по определению расхода сжиженного нефтяного газа автобусом малой вместимости ГАЗель Next Citiline, работающего на регулярном городском маршруте. Проведен анализ законодательной базы по расширению использования альтернативного топлива на автомобильном транспорте ввиду ухудшающейся экологической обстановки. Выявлена тенденция по увеличению доли автобусов, использующих газовое топливо взамен традиционным дизелю и бензину. Проанализированы работы по выявлению факторов, влияющих на изменение расхода топлива автомобилями. Установлено, что основными факторами, влияющими на расход газового топлива, являются природно-климатические, транспортные и дорожные условия. На основе ездового эксперимента построена математическая модель, описывающая полученную зависимость. Также эксперимент показал, что в схожих дорожных и транспортных условиях отклонение между максимальными и минимальными значениями расхода газового топлива при изменении температуры окружающего воздуха составляет 27 %. На основе этого рассчитаны средние значения расхода топлива в различных температурных диапазонах, приведенные 100 км пробега и затраты на его приобретение.

Ключевые слова: факторный анализ, пассажирские перевозки, дизельный автобус, расход топлива.

Введение

В настоящее время правительства многих стран предпринимают шаги по замещению традиционных видов топлив на альтернативные. На автомобильном транспорте к таким видам можно отнести – нефтяной и природный газ, а также электричество. Тенденция расширения использования альтернативного топлива вызвана экологическим и экономическим аспектом. Особенно это актуально для крупных городов и мегаполисов.

Например, согласно данным российской федеральной службы государственной статистики [7] доля дизельных пассажирских автобусов России от общего числа возрастала до 2015 г. и составляла 45,9 % (110 763 ед.). А с 2016 г. имеет тенденцию к численному снижению. По состоянию на 2020 г. парк автобусов на дизельном топливе составляет 67 194 ед.

Доля бензиновых автобусов увеличивалась до 2010 г., когда составляла около 60 % (145 011 ед.) от общего числа всех автобусов. И далее, постепенно начала снижаться. В 2015 г. их насчитывалось 112 385 ед. (46,7 %). А в 2020 г. всего 5333 ед. (5,6 %).

Также, согласно [7] выявлено, что с 2016 г. резко снизился парк автобусов в целом. Если в 2015 г. их насчитывалось 241 090 ед., то в 2016 г. всего 101 663 ед. По состоянию на 2020 г. число всех пассажирских автобусов составляет 96 140 ед. из которых дизельных – 67 194 ед. (69,9 %), на природном газе – 19 909 ед. (20,7 %), на бензине – 5333 ед. (5,6 %), на других видах топлив (в том числе нефтяном газе и электричестве) – 3704 ед. (3,8 %).

Как видно доля бензиновых и дизельных автомобилей до сих пор является подавляющей, однако возрастает доля автобусов на газовом и других видах топлив [7].

К основным причинам, из-за которых снизился парк автобусов, и возросла доля использования альтернативного топлива является законодательная база, а именно:

– принятие ФЗ № 220 «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в РФ» в результате чего в отрасли пассажирских перевозок запрещены автобусы с большим сроком эксплуатации, существенная часть которых составляла дизельные автобусы иностранного производства;

– подписание и последующая ратификация Россией парижского соглашения по климату, которому предшествовала в конце 2015 г. 21-я конференция (COP 21) рамочной конвенции ООН об изменении климата. Согласно этому,

Россия наращивает использование более экологических видов топлив

– принятие поправок в ФЗ № 261 от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» (ред. от 11.06.2021 г.). В ст. 14. «Повышение энергетической эффективности экономики субъектов РФ и экономики муниципальных образований» указывается про увеличение доли высокоэкономичных в части использования моторного топлива автомобилей, в отношении которых проведены мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, в том числе по замещению бензина и дизельного топлива, альтернативными видами моторного топлива – природным газом, сжиженным нефтяным газом (пропан-бутаном) и др.

– измененная государственная программа России от 15.04.2014 г. № 321 «Развитие энергетики». В документе есть разделы по развитию более экологичного рынка газомоторного топлива, которые включают ряд положений по стимулированию переоборудования автомобилей на природный газ, приобретение новых газобаллонных автомобилей, а также строительство газозаправочной инфраструктуры;

– постановление Правительства РФ от 13.05.2020 г. № 669 «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета производителям техники, использующей природный газ в качестве моторного топлива»;

– распоряжение правительства РФ от 09.06.2020 г. № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г.»;

– распоряжение Правительства РФ от 23.08.2021 г. № 2290-р «О концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 г.».

Для повышения транспортной доступности во многих городах России распространены регулярные пассажирские маршруты с автобусами малой вместимости, которые в целом соответствуют ожиданиям по скорости и комфортности доставки. При этом известно, что большинство из них используют в качестве топлива сжиженный нефтяной газ (пропан-бутан).

Например, в российском городе Тюмень основной маркой автобусов малой вместимости является ГАЗель Next Citiline модификаций Луидор 225019, Луидор-2250DS и ГАЗ А64R45.

Целью работы является выявление закономерностей изменения расхода топлива автобуса

малой вместимости, работающего на городском регулярном маршруте в г. Тюмени.

Задачи исследования:

- выявить факторы, влияющие на изменения расхода топлива в городских условиях;
- провести эксперимент по влиянию внешних условий эксплуатации на величину расхода топлива автобуса на сжиженном нефтяном газе;
- установить закономерности влияния условий эксплуатации на расход топлива исследуемого автомобиля;
- представить затраты на приобретение газового топлива с учетом условий эксплуатации.

Объект исследования – процесс изменения расхода топлива автобусами в условиях городской среды.

Предметом исследования является отечественный газовый автобус малой вместимости ГАЗель Next Citiline (Луидор 225019) с двигателем Evotech A275 LPG, (газовый/бензиновый).

Автобус соответствует экологическому классу 5 (Евро-5). Имеет общую вместимость 19 чел. из которых одно стоячее место.

Факторный анализ

На расход топлива автобусов влияет большое количество факторов [1–6, 8–20]. К основным относятся:

- конструктивные особенности и его техническое состояние (тип двигателя, колесная формула, вид используемого топлива, аэродинамическое сопротивление, сопротивление качению шин, масса автомобиля, техническое состояние узлов и агрегатов, периодичности ТО и Р, предсезонная подготовка, пробег и т. д.);
- транспортные условия (загрузка автобусов пассажирами, движение в транспортном потоке, простои на посадку-высадку пассажиров и т. д.);
- природно-климатические условия (температура окружающего воздуха, влажность, атмосферное давление, скорость и направление ветра и т. д.);
- дорожные условия (качество дорожного полотна, уклоны, наличие на дороге, влаги льда, снега, камней, листьев и т. д.);
- психофизиологические особенности водителя (стиль езды, стаж и т. д.);
- работа дополнительного оборудования и его характеристики (кондиционер, климат-контроль, предпусковой подогреватель, отопитель салона, магнитола, фары и т. д.);
- вид и качество топлива.

Экспериментальное исследование

Исследуемый автобус Газель Next Луидор 225019 эксплуатировался на регулярном городском маршруте № 45 «ул. Созидателей – ЖК Звёздный городок». Маршрут соединяет два периферийных района и проходит по центральной магистральной улице Мельникайте. Схема маршрута представлена на рисунке 1.

Маршрут является маятниковым. Протяженность оборота составляет 54,7 км (в прямом направлении – 30 км, в обратном 24,7 км). В прямом направлении находится 48 остановочных пунктов, а в обратном 44. По маршруту следования в прямом направлении 30 светофорных объектов и 23 нерегулируемых пешеходных перехода.

В обратном направлении 31 регулируемый перекресток и 23 нерегулируемых пешеходных перехода. Более половины маршрута следования состоит из прямых отрезков с малым количеством уклонов и поворотов, опасные участки отсутствуют. Категория дороги – I.

На основе ездовых экспериментов выявлено, что время оборота в межпиковых промежутках времени составляет до 100 мин. В пиковое время оборот может составлять до 130 мин. Время работы автобуса на маршруте, в зависимости от графика движения, с 5:50 до 22:30. В исследовании представлены результаты только будних не праздничных дней за 2020–2021 гг. [19].

При проведении исследования ездового цикла фиксировалась дата, суточные пробеги, количество топлива на начало и конец маршрута и фактическая среднесуточная температура окружающего воздуха. Контроль расхода газового топлива осуществлялся с использованием метода доливки баллона до полного. Для снижения влияния на полученные результаты измерений случайных и систематических погрешностей производилась обработка более 100 замеров дневных ездовых циклов, что превышает количество измерений при используемом методе.

Температура окружающего воздуха получена на основе среднесуточных значений в соответствии с сайтом Gismeteo.

Для уменьшения влияния технического состояния автомобиля исследовалось одно тоже транспортное средство. На исследуемом микроавтобусе использовались смазочные материалы и технические жидкости, которые указаны в технической документации данной марки.

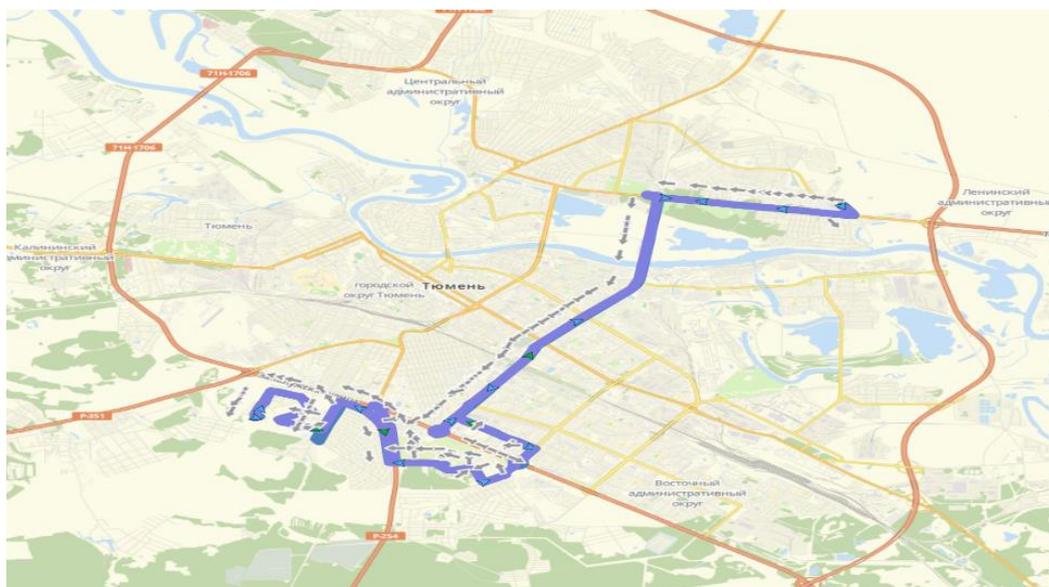


Рисунок 1 – Схема движения регулярного маршрута № 45

Для снижения влияния навыков вождения на уровень расхода топлива учитывались данные по автобусу, на котором работали два одних и тех же водителя (эксплуатация автобуса осуществляется в 2 смены).

Для уменьшения влияния качества топлива на результаты эксперимента, автобус заправлялся на одной и той же АГЗС.

На этапе планирования эксперимента выявлено, что при эксплуатации в зимнее время года пуск и прогрев двигателя данного автобуса осуществляется на бензине, а работа на маршруте на сжиженном нефтяном газе. Поэтому расход на прогрев двигателя в исследованиях не учитывался.

В результате обработки ездовых экспериментальных данных построена графическая зависимость (рисунок 2).

Результаты и выводы

Проведя анализ полученных исследовательских данных было установлено, что ежесуточный пробег автобуса составлял от 89 до 282 км. В основном пробег составляет от 250 км. Диапазон температур окружающего воздуха в течение исследуемого периода – от минус 26 до +32 °С.

Самое низкое отклонение расхода топлива от базовых значений зафиксировано в диапазоне температур воздуха от +4 до +19 °С и составляло около 16 л/100 км. При этом большинство полученных значений расхода топлива при температурах от +3 до +22 °С находится в диапазоне от 15,7 до 17,3 л/100 км.

При отрицательных температурах воздуха наблюдается тенденция к увеличению расхода топлива с 16,9 до 21,4 л/100 км.

Минимальный расход топлива установлен при температуре воздуха +19 °С (15,7 л/100 км), а максимальный при минус 25 °С (21,4 л/100 км). Отклонение между минимальным и максимальным значениями составило – 27 %.

Установлено, что затруднена эксплуатация двигателя на газовом топливе при температурах ниже минус 25 °С.

Выявлено, что в часы-пик в салоне автобуса на большей части маршрута превышено допустимое количество пассажиров, что может влиять на расход топлива, приведенного к 100 км пробега с учетом природно-климатических, дорожных и транспортных условий.

При отрицательных температурах воздуха обогрев салона происходит за счет отопителя, использующего тепло системы охлаждения.

При обработке ездового эксперимента в программных комплексах «Excel» и «Statistica 8.0» была получена квадратичная математическая модель расхода топлива (1) и выявлены некоторые численные значения основных статистических характеристик.

$$q_{\text{СНГ}} = 0,0036 \cdot t_{\text{в}}^2 - 0,0762 \cdot t_{\text{в}} + 17,036, \quad (1)$$

где $t_{\text{в}}$ – фактическая среднесуточная температура окружающего воздуха, °С.

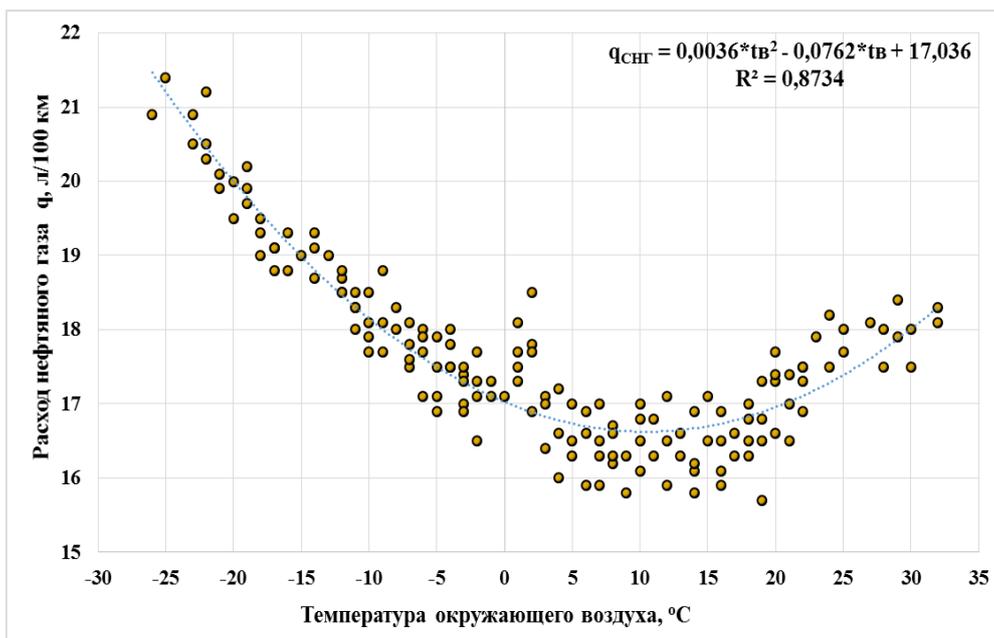


Рисунок 2 – График фактического расхода сжиженного нефтяного газа автобусом Газель Next Луидор 225019

Коэффициент детерминации 0,87 свидетельствует о том, что на долю вариации температуры окружающего воздуха приходится большая часть по сравнению с остальными факторами в модели, влияющими на изменение расхода газового топлива. Статистическая значимость коэффициентов подтверждена значением критерия Стьюдента (*t*-критерия) которая составила – 13. Ввиду того, что средняя ошибка аппроксимации составляет 0,91 % и не превышает 10 %, то полученное уравнение можно использовать в качестве регрессии. Значение критерия Фишера (*F*) при заданном уровне доверительной вероятности 0,95 составило 124, что больше табличного, следовательно, регрессионная модель адекватно описывает влияние температуры окружающего воздуха на расход сжиженного нефтяного газа.

Знание среднего расхода топлива и затрат на его приобретение позволяет планировать финансовые средства пассажирских предприятий на закупку топлива. Результаты представлены в таблице 1. Цена на пропан-бутан по состоянию на январь 2022 г. в г. Тюмени составляла 29,0 руб./л.

Таблица 1 – Средние значения расхода топлива в различных температурных диапазонах л/100 км и затраты на его приобретение руб./100 км

Марка автобуса	Температурный диапазон							
	-20	-15	-10	-5	+5	+10	+15	+20
ГАЗель Next Луидор 225019	19,4	17,8	16,5	16,7				
	562,6	516,2	478,5	484,3				

Таким образом:

– установлено, что основными влияющими факторами при эксплуатации автобуса малой вместимости являются температура окружающего воздуха, а также транспортные и дорожные условия;

– экспериментально определено, что отклонение между максимальными и минимальными значениями расхода топлива составляют – 27 %; Минимальный расход топлива – 15,7 л/100 км (при +19 °С), а максимальный – 21,4 л/100 км (при минус 25 °С).

– на основе ездовых экспериментов была получена адекватная математическая модель, описывающая установленную зависимость.

– на основе данных по фактическому расходу топлив и температур окружающего воздуха было установлено, что затраты на сжиженный нефтяной газ составляют от 478 до 562 руб./100 км (в ценах января 2022 г.).

Литература

1. Анисимов, И. А. Приспособленность автомобилей с дизельными двигателями к низкотемпературным условиям эксплуатации по токсичности отработавших газов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / И. А. Анисимов; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2003. – 195 с.

2. Гаваев, А. С. Приспособленность газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по токсичности отработавших газов и расходу топлива: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А. С. Гаваев; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2007. – 155 с.

3. Захаров, Д. А. Влияние зимних условий эксплуатации автомобилей на топливную экономичность двигателей: дис. ... канд. техн.

наук: 05.22.10 / Д. А. Захаров; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2000. – 165 с.

4. Иванов, А. С. Приспособленность газодизельных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации и массе перевозимого груза по расходу топлива и токсичности отработавших газов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А. С. Иванов; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2011. – 155 с.

5. Иголкин, А. Н. Определение ресурса городских автобусов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А. Н. Иголкин; ВлГУ. – Владимир, 2010. – 167 с.

6. Капский, Д. В. Транспортные передвижения для построения сети городского пассажирского транспорта и транспортной системы в целом / Д. В. Капский // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 1 (74). – С 17–30.

7. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики : – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455>. – Дата доступа: 15.04.2022.

8. Петров, А. И. Город. Транспорт. Внешняя среда: монография / А. И. Петров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 356 с.

9. Петров, А. И. Концептуальные основы совершенствования управления городским пассажирским общественным транспортом на основе учета влияния внешней среды / А. И. Петров // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – № 4. – С. 42–47.

10. Петров, В. Е. Психология дорожного стресса и агрессивного поведения современных зарубежных исследованиях / В. Е. Петров, А. В. Кокурин, А. Ю. Назарова // Современная зарубежная психология. – 2020. – Т. 9, № 1. – С. 22–28.

11. Приспособленность газобаллонных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации по расходу топлива и выбросам вредных веществ с отработавшими газами / И. А. Анисимов, А. С. Иванов, Е. М. Чикишев [и др.]. – Тюмень, ТюмГНГУ, 2013. – 296 с.

12. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте : Распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 № АМ-23-р (ред. от 20.09.2018 г.) «О введении в действие методических рекомендаций» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009/. – Дата доступа: 10.04.2022.

13. Резник, Л. Г. Оценка приспособленности автомобилей к массе перевозимого груза по расходу топлива с учетом суровости транспортных условий / Л. Г. Резник, Д. А. Чайников // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2009. – № 3 (39). – С. 64–68.

14. Рехалов, Р. О. Исследование влияния температуры воздуха на расход топлива легкового автомобиля, переоборудованного для работы на сжиженном нефтяном газе / Р. О. Рехалов, Е. М. Чикишев // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 3. – С. 60–67.

15. Свистунова, В. А. Совершенствование перевозочного процесса городского пассажирского общественного транспорта производственных моногородов в суровых погодных условиях (на примере г. Нефтеюганск) : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / В. А. Свистунова; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2010. – 210 с.

16. Семченков, С. С. Повышение эффективности работы предприятий маршрутного пассажирского транспорта в современных условиях / С. С. Семченков, Д. В. Капский // Новости науки и технологий. – 2022. – № 1 (60). – С. 16–26.

17. Чикишев, Е. М. Корректирование перевозочных маршрутов городского общественного пассажирского транспорта г. Тюмени и г. Екатеринбурга / Е. М. Чикишев // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2014. – № 4. – С. 31–43.

18. Чикишев, Е. М. Определение норм расхода топлив автобусов на основе фактических условий эксплуатации в городской среде / Е. М. Чикишев // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сборник научных трудов международной научно-практической конференции. – Минск, 2021. – Т. 2. – С. 93–99.

19. Чикишев, Е. М. Эксплуатация автобусов на различных видах топлива в условиях городской среды : монография / Е. М. Чикишев, А. С. Гаваев, Д. А. Чайников. – Тюмень: ТИУ, 2022. – 175 с.

20. Ярков, С. А. Влияние низкотемпературных условий эксплуатации на регулярность движения городских маршрутных автобусов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / С. А. Ярков; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2007. – 207 с.

CHIKISHEV Evgeniy. M., Ph.D. in Eng., Ass. Prof.,
Associate Profesor Dept. Operation of road transport
E-mail: chikishev_e@mail.ru

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Received 16 May 2022

THE INFLUENCE OF ACTUAL OPERATING CONDITIONS ON THE FUEL CONSUMPTION OF A MINIBUS

The paper presents an experiment to determine the consumption of liquefied petrol gas by a minibus GAZelle Next Citiline operating on a regular city route. An analysis of the legislative framework for expanding the use of alternative fuels in road transport is carried out due to the deteriorating environmental situation. A trend towards an increase in the share of buses using gas fuel instead of traditional diesel and gasoline is revealed. Analyzed papers to identify factors affecting the change in fuel consumption by cars. It is established that the main factors affecting the gas fuel consumption are climatic, transport and road conditions. Based on the driving experiment, a mathematical model describing the obtained dependence is obtained. The experiment also showed that in similar road and transport conditions, the deviation between the maximum and minimum values of gas fuel consumption with a change in ambient temperature is 27%. Based on this, the average values of fuel consumption in various temperature ranges, the given 100 km of mileage and the cost of its acquisition were calculated.

Keywords: factor analysis, passenger transportation, diesel bus, fuel consumption.

References

1. Anisimov, I. A. Diesel vehicle adaptability to low ambient temperature conditions by the exhaust gases toxicity: diss. ... cand. of tehn. sciences: 05.22.10 / I. A. Anisimov; TSOGU. – Tyumen, 2003. – 195 p. (in Russian).
2. Gavaev, A. S. Natural gas vehicles adaptability to low-temperature operation conditions by toxicity of exhaust gases and fuel consumption: diss. ... cand. of tehn. sciences: 05.22.10 / A. S. Gavaev; TSOGU. – Tyumen, 2007. – 155 p. (in Russian).
3. Zakharov, D. A. Influence of winter operating conditions of vehicles on the fuel efficiency of engines: diss. ... cand. of tehn. sciences: 05.22.10 / D. A. Zakharov; TSOGU. – Tyumen, 2000. – 165 p. (in Russian).
4. Ivanov, A. S. Gas-diesel vehicles adaptability to low-temperature operation conditions and weight of cargo by fuel consumption and toxicity of exhaust gases: diss. ... cand. of tehn. sciences: 05.22.10 / A. S. Ivanov; TSOGU. – Tyumen, 2011. – 155 p. (in Russian).
5. Igolkin, A. N. Determination of the resource of city buses: diss. ... cand. of tehn. sciences: 05.22.10 / A. N. Igolkin; VIGU. – Vladimir, 2010. – 167 p. (in Russian).
6. Kapsky, D. V. Transport movement in constructing urban passenger transport network and transport system as a whole / D. V. Kapsky // The Belarusian-Russian university herald. – 2022. – № 1 (74). – P. 17–30 (in Russian).
7. Official website of the Federal State Statistics Service [Electronic resource]. – Access mode: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455>. Date of access: 15/04/2022 (in Russian).
8. Petrov, A. I. City. Transport. External environment: monograph / A. I. Petrov. – Tyumen: TSOGU, 2013. – 356 p. (in Russian).
9. Petrov, A. I. Conceptual foundations for improving the management of urban passenger public transport based on taking into account the influence of the external environment / A. I. Petrov // Transport: science, technology, management. – 2011. – № 4. – P. 42–47 (in Russian).
10. Petrov, V. E. Psychology of road stress and aggressive behavior in modern foreign research / V. E. Petrov, A. V. Kokurin, A. Yu. Nazarova // Modern foreign psychology. – 2020. – Vol. 9, № 1. – P. 22–28. (in Russian).
11. Adaptability of gas-balloon vehicles to low-temperature operating conditions in terms of fuel consumption and emissions of harmful substances with exhaust gases / I. A. Anisimov, A. S. Ivanov, E. M. Chikishev [et al.]. – TSOGU. – Tyumen, 2013. – 296 p. (in Russian).

12. On the introduction of methodological recommendations «Norms of consumption of fuels and lubricants in road transport» [Electronic resource]: Order of the Ministry of Transport of Russia dated 14.03.2008 № AM-23-p (ed. 20.09.2018) // Consultant Plus : Access mode: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009. – Date of access: 10/04/2022 (in Russian).

13. Reznik, L. G. Assessment of the adaptability of vehicles to the mass of the transported cargo in terms of fuel consumption, taking into account the severity of transport conditions / L. G. Reznik, D. A. Chainikov // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. – 2009. – № 3 (39). – P. 64–68 (in Russian).

14. Rekhalov, R. O. Research of the temperature influence of fuel consumption of a passenger car converted to operate on liquefied petroleum gas / R. O. Rekhalov, E. M. Chikishev // Architecture, construction, transport. – 2021. – №3. – P. 60–67 (in Russian).

15. Svistunova, V. A. Improving the transportation process of urban passenger public transport of industrial single-industry cities in severe weather conditions (on the example of the city of Nefteyugansk) : diss. ... cand. of techn. sciences: 05.22.10 / V. A. Svistunova; TSOGU. – Tyumen, 2010. – 210 p. (in Russian).

16. Semtchenkov, S. S. Increasing the efficiency of passenger route transport enterprises work in modern conditions / S. S. Semtchenkov, D. V. Kapski // Science and technology news. – 2022. – №1 (60). – P. 16–26 (in Russian).

17. Chikishev, E. M. Correcting the transportation routes of urban public passenger transport in the Yekaterinburg and Tyumen cities / E. M. Chikishev // Freight and passenger vehicles. – 2014. – № 4. – P. 31–43 (in Russian).

18. Chikishev, E. M. Determination bus fuel consumption rates based on the actual use conditions in the urban environment / E. M. Chikishev // Automobile and tractor construction and road transport : international scientific and practical conference. – Minsk, 2021. – Vol. 2. – P. 93–99 (in Russian).

19. Chikishev, E. M. Operation of buses on various types of fuel in an urban environment : monograph / E. M. Chikishev, A. S. Gavaev, D. A. Chainikov. – Tyumen: IUT, 2022. – 175 p. (in Russian).

20. Iarkov, S. A. Influence of low-temperature operating conditions on the regularity of the movement of urban shuttle buses: diss. ... cand. of techn. sciences: 05.22.10 / S. A. Iarkov; TSOGU. – Tyumen, 2007. – 207 p. (in Russian).

УДК 656

САРАЖИНСКИЙ Д. С., канд. физ.-мат. наук,
доц. кафедры «Транспортные системы и технологии»
E-mail: sarazhinsky@mail.ru

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 08.08.2022

АНАЛИТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА (НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ) ПО ПОЛОСАМ

В повседневной практике проектирования/реорганизации управления движением на регулируемом пересечении типично в качестве исходных данных выступает информация о распределении транспортного спроса по направлениям движения (именно она является наиболее общей формой представления спроса на передвижение через пересечение). С другой стороны, для оценки показателей функционирования соответствующего пересечения необходимо иметь информацию о распределении этого транспортного спроса уже непосредственно по полосам движения. Как следствие с необходимостью встает задача о прогнозировании такого распределения на базе математического моделирования. Наиболее прямым способом здесь мог бы служить подход с использованием

имитационного микромоделирования, однако он предполагает построение соответствующей имитационной модели, что, во-первых, не всегда просто (в общем случае требует построения, верификации, калибровки и валидации модели), а во-вторых, не всегда целесообразно (например, когда речь идет о проектировании/реорганизации регулируемого пересечения с задействованием только прикидочных оценок на базе аналитических/теоретических моделей, высокая точность имитационных моделей оказывается избыточной). По этой причине оказываются актуальны математические модели распределения транспортного спроса по полосам, которые позволяли бы избежать чрезмерных усложнений имитационного микромоделирования и в то же время давали бы не слишком грубые оценки. Как показал анализ доступной литературы по соответствующей теме, существующие на данный момент модели либо слишком грубые (не способные учесть важную специфику организации движения на регулируемом пересечении), либо наоборот, пытающиеся учесть слишком много факторов, что делает их слишком громоздкими, практически невозможными для анализа и проведения вычислений «вручную». С учетом этого, в данной работе предлагается компромиссный вариант между этими подходами, а именно, предлагается аналитико-алгоритмический метод распределения спроса по полосам (представляющий собой разновидность «полуаналитического» имитационного мезомоделирования), позволяющий, с одной стороны, сохранить простоту описания динамики соответствующего процесса распределения по полосам, а с другой – отбросить, на взгляд автора, несущественные для многих практических целей проектирования/реорганизации регулируемого пересечения факторы.

Ключевые слова: регулируемое пересечение, распределение транспортного спроса по полосам, математическое моделирование, аналитическая модель.

Введение

Математическое моделирование на базе аналитических (аналитико-алгоритмических) макромоделей транспортного спроса является одним из простейших и в то же время достаточно точных методов оценки качества принимаемых проектных решений по организации движения на регулируемом пересечении [1]. В качестве исходных данных таких моделей в общем случае выступает информация о распределении транспортного спроса по геометрическим направлениям движения (именно она является наиболее общей формой представления спроса на передвижение через пересечение). Однако для получения на основе этой информации нужных оценок качества как правило требуется дополнительный учет специфики распределения спроса еще и по полосам движения. Как следствие в качестве обязательной части такого моделирования появляется отдельная задача прогнозирования соответствующего распределения.

В случае, когда для каждого направления движения выделена одна единственная полоса, задача тривиальна. Однако в реальности чаще встречаются ситуации с альтернативными полосами – вариантами организации движения, предоставляющими выбор из нескольких полос для движения в заданном направлении. И более того – когда с одной или нескольких из таких альтернативных полос разрешается совместное движение в нескольких направлениях сразу (как, например, движение прямо и поворот

налево/направо). В таких ситуациях решение соответствующей задачи уже не выглядит простым. Рассмотрению этой проблематики было посвящено ряд работ (общий обзор можно найти в [2, 3]). Однако среди рассмотренных в этих работах подходах к нашедшим *практическое применение* можно отнести лишь следующие:

1) метод равномерного распределения по полосам приведенного транспортного спроса, а именно, исходный спрос сперва приводится по составу транспортного потока и поворотным маневрам к потоку со стандартным потоком насыщения после чего распределяется по альтернативным полосам таким образом, чтобы на каждую полосу в итоге (с учетом спроса по всем направлениям) приходилась одинаковая величина суммарного спроса [4];

2) метод последовательного распределения элементарных объемов транспортного спроса таким образом, чтобы минимизировать их время задержки проезда пересечения, вызванного разездами очередей (в наиболее полном виде представлен в НСМ [5]);

3) метод последовательного распределения элементарных объемов транспортного спроса таким образом, чтобы выровнять коэффициенты загрузки полос движением [6, 7].

К недостаткам этих подходов можно отнести: подход 1) работает с приведенным спросом, что не позволяет его использовать там, где важно знать распределение по полосам транспортных средств каждого типа (например, для

оценки геометрических размеров очереди). Кроме того, он не учитывает специфику организации движения по полосам транспортных средств отдельных типов, а значит, может в таких ситуациях давать неверные предсказания. Наконец, он не учитывает специфику светофорного регулирования, например, ситуацию, когда движение с одной полосы регулируется разными сигнальными группами.

К недостаткам метода HCM 2) можно отнести чрезмерную громоздкость, затрудняющую понимание и как следствие калибровку и верификацию модели.

Метод же п. 3 и вовсе не может рассматриваться как адекватный для ситуаций, когда имеется несколько альтернативных полос, причем движение по ним регулируется для разных направлений отдельно. (расхождение результатов этого метода с реальными была экспериментально подтверждена в исследованиях [3])

С учетом этого, в данной работе предлагается метод, который призван выступить в роли некоторой «золотой середины», позволяющей, с одной стороны, учесть то, что не учитывает п. 1, и в то же время не быть таким громоздким, как п. 2, максимально сохраняя «аналитичность».

Алгоритм распределения по полосам

Пусть для рассматриваемого входа пересечения, для которого предполагается найти

распределение спроса по полосам, заданы (рисунок 1):

1) интенсивности транспортного спроса с рассматриваемого входа по направлениям и типам транспортных средств;

2) специфика организации движения по каждой из полос, а именно:

– разрешенные направления движения с полосы для каждого типа транспортного средства);

3) специфика регулирования движения с данного входа, а именно:

– длительность цикла регулирования C ;

– интервалы включения разрешающего движение сигнала по каждому направлению в пределах цикла регулирования;

4) косвенные (помимо потери времени в очереди) потери времени при выборе каждой полосы для проезда (например, связанные с последующими перестроениями на выезде).

Кроме того, пусть заданы:

– коэффициенты приведения транспортного потока по потоку насыщения (к стандартному);

– поправочные коэффициенты потока насыщения по маневрам для каждой полосы и направления движения с нее;

– поправочные коэффициенты потока насыщения по условиям движения с полосы.

Направление		Интенсивность спроса (по типам), авт/ч		
Вход	Выход	л	г	а
А	А	0	0	0
	В	72	18	0
	С	360	36	9
	Д	180	0	0

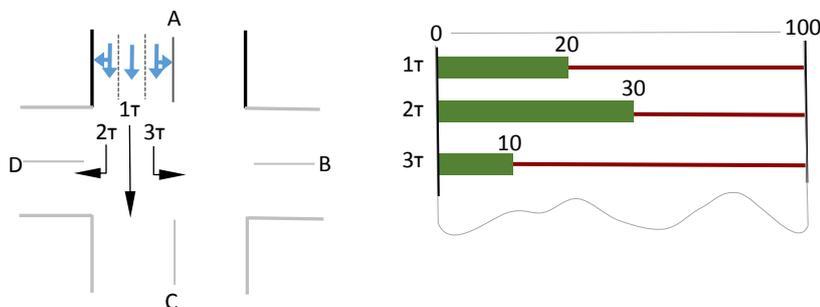


Рисунок 1 – Пример исходных данных

С учетом этих данных тогда идею работы алгоритма можно представить следующим образом.

Пусть $q^{(o,k)}$ – интенсивность спроса на движение по направлению на выход o для типа транспортных средств k . Именно эти величины нам нужно уметь распределять по полосам, однако для более естественного изложения алгоритма распределения договоримся вместо них рассматривать (равносильные им) величины циклового объема спроса $q^{(o,k)} \cdot C$ (объема спроса за длительность цикла).

С учетом сказанного для того, чтобы понять, каким образом распределять цикловой объем спроса по полосам, поступим следующим образом:

разобьем этот цикловой объем спроса на n^* частей

$$\Delta Q^{(o,k)} = q^{(o,k)} \cdot C / n^*,$$

где n^* выберем настолько большим, чтобы объем каждой части был достаточно мал (не превышал 1–2 авто, для чего, как нетрудно понять, достаточно, чтобы $n^* > \max_{o,k} q^{(o,k)} \cdot C / 2$).

При таких малых размерах можно считать, что каждая часть включает не более одного авто, а значит, распределение этой части на ту

или иную полосу должно повторять логику выбора полосы водителем. Для описания этой логики имеет смысл ориентироваться на идеализированную ситуацию, когда водитель владеет полной информацией о ситуации и руководствуется принципом выбора полосы, гарантирующей ему минимальную потерю времени. Здесь следует отметить, что поскольку зачастую водитель при выборе полосы руководствуется не только временем, необходимым для разезда очереди τ_Q на этой полосе, но еще и затратами времени Δt , связанными, например, с последующими перестроениями, то в алгоритме имеет смысл ориентироваться на суммарное потраченное на проезд пересечения время, включающее в себя оба этих аспекта.

С учетом сказанного сам алгоритм распределения по полосам тогда можно представить в следующем виде (фактически, воспроизводящем поведение отдельных транспортных средств).

Пусть для хранения промежуточных значений зарезервированы переменные:

– ${}^l n^{(o,k)}$ – количество распределенных на полосу l частей $\Delta Q^{(o,k)}$;

– ${}^l \tau_Q$ – время разезда очереди с полосы l .

Тогда псевдокод алгоритма можно представить, как (рисунок 2).

```

для всех полос  $l = 1, 2, \dots$  выполнить:
   ${}^l n^{(o,k)} \leftarrow 0$ 
   ${}^l \tau_Q \leftarrow 0$ 
конец

для частей  $i = 1, 2, \dots, n^*$  выполнить:
  для всех вариантов  $\Delta Q^{(o,k)}$ ,  $o = A, B, \dots$ ,  $k = л, Г, \dots$  выполнить:
    ▪ из всех разрешенных для движения  $\Delta Q^{(o,k)}$  полос найти полосу  $l^*$ 
    с минимальным суммарным временем  $\tau_\Sigma = {}^l \tau_Q + \Delta \tau^{(o)}$ ;
    ▪  ${}^{l^*} n^{(o,k)} \leftarrow {}^{l^*} n^{(o,k)} + 1$  (то есть распределить на эту полосу  $\Delta Q^{(o,k)}$ );
    ▪ пересчитать  ${}^{l^*} \tau_Q$  (см. процедуру пересчета ниже);
  конец
конец

для всех вариантов  $l = 1, 2, \dots$ ,  $o = A, B, \dots$ ,  $k = л, Г, \dots$  выполнить:
  вывести результирующие распределенные объемы
   ${}^l Q^{(o,k)} = \Delta Q^{(o,k)} \cdot {}^l n^{(o,k)}$  (либо  ${}^l q^{(o,k)} = {}^l Q^{(o,k)} / C$ ).
конец
  
```

Рисунок 2 – Псевдокод алгоритма распределения транспортного спроса по полосам

Процедура расчета времени ${}^l\tau_Q$ предполагает последовательное выполнение следующих шагов:

1) рассчитать приведенный по потоку насыщения к легковым движущимся без маневров в стандартных условиях транспортным средствам накопившийся (из распределенных на данную полосу частей) объем:

$${}^lQ^{(*)} = \sum_o \sum_k {}^l n^{(o,k)} \cdot \Delta Q^{(o,k)} \cdot K_s^{(k)} \cdot K_m^o \cdot K_l,$$

где $K_s^{(k)}$ – коэффициент приведения по потоку насыщения к легковым транспортным средствам;

K_m^o – поправочный коэффициент потока насыщения по маневрам (при движении в направлении на выход о);

K_l – поправочный коэффициент потока насыщения по условиям движения с полосы;

2) рассчитать время разъезда очереди:

$${}^l\tau_Q = \frac{{}^lQ^{(*)}}{s_0} + \delta t^{loss} + [{}^lx] \cdot C,$$

$${}^lx = \frac{{}^lQ^{(*)}}{s_0 ({}^lIG - \delta t^{loss})},$$

где s_0 – стандартный поток насыщения;

δt^{loss} – максимальная величина времени, дополнительно теряемого из-за процесса установления потока насыщения (типично около 3с);

lIG – длительность интервала, разрешающего движение одновременно по всем направ-

лениям, разрешенным для движения с этой полосы (если таковых несколько), квадратные скобки – операция взятия целой части числа.

Последнее слагаемое в выражении для ${}^l\tau_Q$ отвечает за дополнительные задержки в случае, когда коэффициент загрузки полосы lx больше единицы, и соответственно, для разъезда скопившейся очереди требуется ждать еще $[{}^lx] \cdot C$ полных циклов.

Соответствующий алгоритм, как видится, легко применить даже в полуавтоматическом режиме, реализуя выбор полосы для очередной части $\Delta Q^{(o,k)}$ вручную, но при этом ориентируясь на автоматическое вычисление времен ${}^l\tau_Q$ с помощью, например, электронных таблиц, наподобие таблицы 1.

Замечание 1. В случае, когда у того или иного направления движения нет альтернативных полос, то есть, выделена одна единственная полоса, имеет смысл сразу распределить на нее весь цикловой объем соответствующего транспортного спроса, тем самым ускорив расчет.

Замечание 2. В случае, когда по каким-то соображениям заведомо известно, что при соответствующем принципе распределения спроса коэффициенты загрузки на альтернативных полосах не будут превышать единицы, распределение спроса тогда, как можно заметить, не будет зависеть от специфики регулирования движения. (Как следствие становится не обязательным делать перерасчет распределения для нового варианта диаграммы светофорного регулирования, если заранее известно, что соответствующие условия будут выполнены и для нее).

Таблица 1 – Вариант шаблона для вычисления распределения спроса (для примера с $n^*=10$)

		Распределение спроса по полосам						Расчет затрат времени								
		л		г		а		K_m	K_l	$Q_n^{(*)}$	IG	C	τ_Q	$\Delta\tau$	τ_z	
		ΔQ	n	ΔQ	n	ΔQ	n									
3	↑	0.2		0.05		0.0		1.07	1.0		10	100		0		
	→	1.0		0.1		0.025		1.0						0		
2	→	1.0		0.1		0.025		1.0	1.0		30			0		
1	→	1.0		0.1		0.025		1.0	1.0		20			10		
	↓	0.5		0.0		0.0		1.06						0		

Кейс-стади

Исходные данные:

Направление		Интенсивность спроса (по типам), авт/ч		
Вход	Выход	л	г	а
А	А	24	3	0
	В	153	27	3
	С	269	36	0
	Д	132	7	8

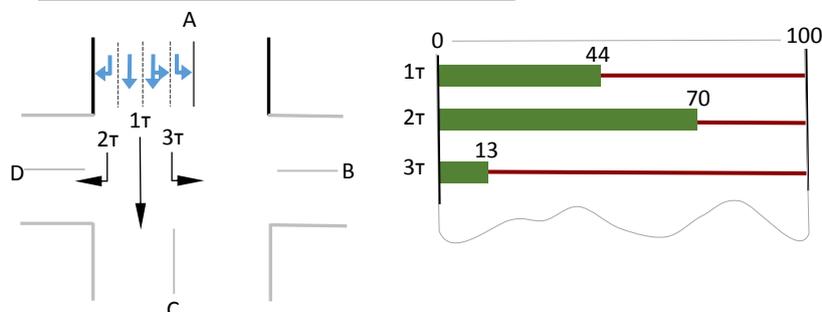


Рисунок 3 – Базовые исходные данные для рассматриваемого случая. Также известно, что движение автобусов по направлению АВ осуществляется только по третьей полосе:

$$K_s^{(л)} = 1.5, \quad K_s^{(г)} = 1.5, \quad K_s^{(а)} = 2.5;$$

$$K_l = 1; \quad \Delta\tau^{(0)} = 0.$$

$$K_m^A = 1.19, \quad K_m^B = 1.05,$$

$$K_m^C = 1, \quad K_m^D = 1.08.$$

Ниже в таблице 2 представлены сравнительные результаты, полученные путем расчета (для $n^* = 10$) и реальных замеров.

Из расчета $K_m^o = 1 + 1.5/R$, где R – радиус поворота:

Таблица 2 – Результаты расчетов распределения спроса

		Распределение циклового спроса по полосам					
		л		г		а	
		$Q^{расч}(\Delta Q)$	$Q^{реал}$	$Q^{расч}(\Delta Q)$	$Q^{реал}$	$Q^{расч}(\Delta Q)$	$Q^{реал}$
4	↖	0.67	0.67	0.07	0.07	0	0
	↑	2.98(0.43)	2.33	0.37(0.01)	0.47	0	0
3	↑	1.28(0.43)	1.93	0.37(0.01)	0.27	0.07	0.07
	→	2.24(0.75)	1.93	0.6(0.1)	0.27	0	0
2	→	5.22(0.75)	5.53	0.4(0.1)	0.73	0	0
1	↓	3.67	3.67	0.2	0.2	0.27	0.27

Откуда видно, что результаты расчета вполне хорошо согласуются с результатами измерений для легковых автомобилей; для грузовых же транспортных средств есть некоторые расхождения, которые, по-видимому, связаны с тем, что при текущем расчете не была учтена специфика приоритетности выбора полосы для движения прямо (и которая может быть учтена за счет проведения дополнительного анализа и более тщательной настройки соответствующего времени $\Delta\tau^{(0)}$).

Заключение

Таким образом, предложенный алгоритм способен в значительной мере учесть типичные

нюансы, связанные со спецификой организации движения на регулируемом пересечении, и в то же время не быть настолько громоздким, чтобы вычисления нельзя было достаточно легко понять (проанализировать).

Из особенностей следует отметить, что алгоритм относит к несущественным невозможность перестроения из полосы в полосу при плотных потоках, и то, что в общем случае неравномерность распределения по альтернативным полосам может быть вызвана тем, что транспортным средствам, движущимся по определенным маршрутам (например, маршрутным транспортным средствам), при проезде

данного пересечения может быть предпочтительнее выбрать какую-то определенную полосу. Однако, как видится, данные эффекты во многих ситуациях могут быть отнесены к «эффектам второго порядка».

Литература

1. Traffic Signal Manual: FHWA-HOP-08-024, 2008.
2. Bonneson, J. A. (1998), Lane Volume and Saturation Flow Rate for Multilane Intersection Approach. Journal of Transportation Engineering, Vol. 124. No. 3, pp. 240–255.

3. Nevers, B. and Roupail, N. (2002). Field Evaluation of Lane Selection Strategies at Signalized Intersections. ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 128 (3), p. 224–231.

4. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю; пер. с англ. – М. : Транспорт, 1972. – 424 с.

5. HCM 2010, Vol.4.

6. Akcelik, R. (1989). On the Estimation of Lane Flows for Intersection Analysis. Australia Road Research, Vol. 19 (1), p. 51–57.

7. Bang, K. (1978), Swedish Capacity Manual: Part 3. Capacity of Signalized Intersections. TRR 667.

UDC 656

SARAZHINSKY Denis S., Ph.D. in Phis.-mat. Sc.,
Associate Professor of the Department «Transport Systems and Technologies»
E-mail: sarazhinsky@mail.ru

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 08 August 2022

ANALYTICAL-ALGORITHMIC METHOD FOR PREDICTING TRAFFIC DEMAND LANE DISTRIBUTION (AT SIGNALIZED INTERSECTION)

Designing/re-designing of signalized intersection traffic control commonly uses distributed by geometric directions traffic demand as source data (it is the most general form of representation of traffic demand through the intersection). On the other hand, in order to assess the performance of the intersection, it is necessary to know the distribution of this traffic demand by traffic lanes. As a consequence, the need to predict this distribution on the basis of mathematical modeling arises. The most direct way could be the approach with the use of micro-simulation, but it implies construction of some simulation model, which, firstly, is not always easy (in general, it requires construction, verification, calibration and validation of the model), and secondly, is not always expedient (for example, when it comes to designing/re-designing of signalized intersection traffic control that is based only on analytical/theoretical models, high accuracy of simulation models appears to be redundant). For this reason, mathematical models of traffic demand distribution by lanes that could obviate the related to micro-modeling simulation excessive complications and at the same time provide not too coarse estimates, are relevant. As the analysis of available literature on the relevant topic has shown, the currently available models are either too coarse (unable to take into account important specifics of signalized intersection traffic control) or, on the contrary, attempt to take into account too many factors, which makes them too cumbersome, almost impossible to analyze and perform "manual" calculations. With this in mind, this paper proposes a compromise between these approaches, namely, it proposes an analytical-algorithmic method of demand lane distribution (which is a kind of "semi-analytical" simulation mesomodeling) that allows, on the one hand, to keep the dynamics of the corresponding lane distribution process simple and, on the other hand, to discard, in the author's opinion, factors that are not essential for many designing/re-designing of signalized intersection traffic control purposes.

Keywords: *signalized intersection, traffic demand lane distribution, mathematical modeling, analytical model.*

References

1. Traffic Signal Manual: FHWA-HOP-08-024, 2008.
2. Bonneson, J. A. (1998), *Lane Volume and Saturation Flow Rate for Multilane Intersection Approach*. Journal of Transportation Engineering, Vol. 124. No. 3, P. 240–255.
3. Nevers, B. and Roupail, N. (2002). *Field Evaluation of Lane Selection Strategies at Signalized Intersections*. ASCE Journal of Transportation Engineering. Vol. 128 (3). P. 224–231.
4. Drew D. *Traffic Flow Theory and Control* – Moscow: Transport, 1972. – 424 p/ (in Russian).
5. HCM 2010, Vol.4.
6. Akcelik, R. (1989). *On the Estimation of Lane Flows for Intersection Analysis*. Australia Road Research, Vol. 19 (1), P. 51–57.
7. Bang, K. (1978), *Swedish Capacity Manual: Part 3. Capacity of Signalized Intersections*. TRR 667.

УДК 629.114

ПОВАРЕХО А. С., канд. техн. наук, доц.,
доцент каф. «Тракторы»
E-mail: povarekho@bntu.by

РАХЛЕЙ А. И., канд. техн. наук, доц.,
доцент каф. Тракторы»
E-mail: airahley@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.04.2022

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ПИТАЮЩЕЙ ЧАСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ОБОРУДОВАННОЙ РЕГУЛЯТОРОМ ДАВЛЕНИЯ С ТОРОВЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Широкое применение и совершенствование в настоящее время различного рода систем управления, автоматизации, средств, обеспечивающих улучшение условий труда оператора транспортных средств за счет снижения усилия на органах управления, улучшения отклика управляемых объектов, повышение эффективности тормозных систем, систем активного привода технологического оборудования тракторов и других механизмов приводит к необходимости применения на тракторах все более совершенных пневматических систем, обладающих высоким КПД, точностью регулирования давления в исполнительных механизмах, хорошим следящим действием и безотказностью в работе.

Надежная и эффективная работа пневматических приводов современных тракторов, эксплуатирующихся в условиях повышенной запыленности, широком диапазоне температур и влажности воздуха, в значительной степени зависит от совершенства систем подготовки сжатого воздуха, обеспечивающих его забор из окружающей среды, осушку, маслоотделение и создание достаточного запаса в ресиверах для нормального функционирования всех потребителей.

Основным регулирующим элементом, от которого во-многом зависит качество работы питающей части, является регулятор давления. Основная функция регулятора давления является поддержание давления в ресиверах в строго заданных пределах. Особенностью систем подготовки сжатого воздуха для тракторов БЕЛАРУС является применение в большинстве случаев одноцилиндровых компрессоров, что определяет специфику конструктивного исполнения разгрузочного устройства регулятора давления с целью обеспечения его четкого срабатывания на верхнем и

нижнем пределе регулирования. Это, как правило, определяется инерционностью элементов следящего и разгрузочного устройства. В данной статье рассматривается регулятор давления, оборудованный торovým клапаным элементом, разработана математическая модель и проведен выбор рациональных параметров, обеспечивающих качественное регулирование давления в пневмосистеме тракторов.

Ключевые слова: регулятор давления, торový клапан, статическая характеристика, динамическая характеристика, пределы регулирования, качество регулирования, инерционность системы, разгрузочное устройство, следящий элемент, математическая модель.

Введение

Исследование динамики питающей части пневматического тормозного привода необходимо с целью более полного выявления факторов, влияющих на стабильность характеристик и долговечность узлов, когда все элементы функционируют во взаимосвязи при установившихся и неустановившихся режимах работы [1, 2]. Исследование динамических характеристик тем более необходимо, что поток воздуха, проходящего по коммутациям питающей части, имеет пульсирующий характер, вызывающий колебательные процессы в элементах питающей части. Пульсирующий поток является причиной различных неблагоприятных явлений при работе пневматической системы: снижения производительности компрессора, колебаний трубопроводов, нарушения герметичности клапанов и т. п. Кроме того, пульсация давления отрицательно сказывается на переходных характеристиках регулятора, приводит к увеличению времени работы компрессора под нагрузкой и уменьшению длительности его работы в холостом режиме.

В связи с изложенным, исследования динамических процессов в питающей части являются необходимыми для выбора рациональных схем и размеров отдельных элементов с точки зрения повышения надежности ее работы, которая регламентируется нормативными документами [3].

Процессы в питающей части пневматической системы трактора

Особенностью систем подготовки сжатого воздуха для тракторов БЕЛАРУС является применение в большинстве случаев одноцилиндровых компрессоров [4], что определяет специфику конструктивного исполнения разгрузочного устройства регулятора давления с целью обеспечения его четкого срабатывания на верхнем и нижнем пределах регулирования.

Рассматриваемый регулятор давления (рисунок 1) имеет ряд конструктивных особенностей, одной из которых является наличие торového заслонки, которая одновременно

выполняет роль атмосферного и регулирующего клапанов. Применение данного элемента позволит уменьшить размеры регулятора давления и число клапанных узлов за счет совмещения функций одним элементом, что упрощает конструкцию и повышает надежность ее работы.

Однако объединение нескольких функций в одном элементе предъявляет более высокие требования к точности его функционирования, а именно, срабатывания на верхнем и нижнем пределах регулирования, обеспечивая стабильную зону выдержки по давлению [5].

Поэтому возникает необходимость выбора и оценки влияния конструктивных параметров торového элемента на пределы срабатывания регулятора давления. Для решения этой задачи составим статические уравнения, описывающие цикл работы регулятора давления.

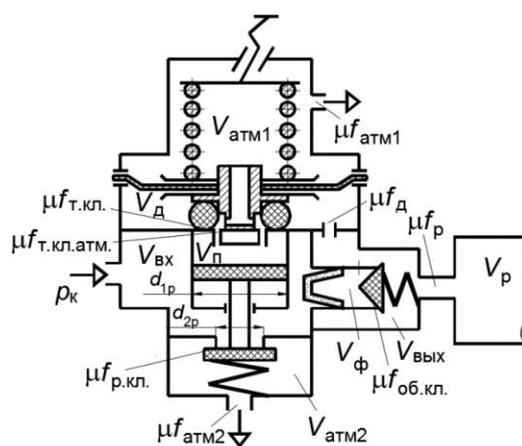


Рисунок 1 – Конструктивная схема регулятора давления с торovým элементом

При составлении уравнений примем следующие допущения [6, 7], не приводящие к существенным искажениям исследуемых процессов:

- давление в поддиафрагменной полости регулятора равно давлению в ресивере;
- нарастание давления от нуля до максимальной величины и падение давления от максимальной величины до нуля в надпоршневой полости разгрузочного клапана происходит мгновенно (регулятор релейный);

– сила трения в клапанной системе регулятора и при деформации диафрагмы принимается постоянной.

Работу регулятора давления можно описать четырьмя статическими уравнениями, характеризующими полный цикл его работы [6]:

- 1) накачивание воздуха в ресивер;
- 2) срабатывание регулятора на верхнем пределе регулирования;

$$\begin{cases} p_d \cdot (S_d - S_T) + P_T = P_{ур} + P_{тр} \\ p_d \cdot (S_d - S_{шт}) = P_{ур} + P_{тр} \\ p_d \cdot S_d + P_{тр} = P_{ур} \\ p_d \cdot (S_d - S_T) + P_T + P_{тр} = \end{cases}$$

где P_d – давление в поддиафрагменной полости регулятора;

S_d – активная площадь диафрагмы;

S_T – площадь, отсекаемая торovým элементом при посадке на седло;

P_T – усилие, затрачиваемое на деформацию торообразной заслонки;

$P_{ур}$ – сила уравновешивающей пружины;

$P_{тр}$ – сила сопротивления прогибу диафрагмы.

Совместное решение второго и третьего уравнения системы (1) позволяет определить диапазон регулирования регулятора давления [8].

$$\Delta p = \frac{p_{max} \cdot S_T + 2 \cdot P_{тр}}{S_d} \quad (2)$$

Видно, что для снижения нечувствительности регулятора давления Δp следует уменьшать силы сопротивления перемещения жесткого центра следящего следящего элемента и увеличивать активную площадь последнего. Наряду с этим на Δp оказывают влияние размеры клапанного узла.

Сравнительный анализ полученных характеристик серийного регулятора давления трактора БЕЛАРУС 1221 [4] и исследуемого с торovým элементом показал более высокую чувствительность регулятора с торovým элементом, за счет значительно меньшей силы сопротивления $P_{тр}$. Причем, использование торовой заслонки позволяет существенно уменьшить площадь,

3) процесс разгрузки компрессора и расход воздуха из ресивера на потребителей;

4) включение компрессора на накачивание воздуха в ресивер (срабатывание на нижнем пределе регулирования).

Воспользовавшись расчетной схемой (рисунок 1), получаем уравнения статики, описывающие цикл работы регулятора давления, имеющие вид:

$$\begin{cases} \text{при } 0 < p_d < p_{max}; \\ \text{при } p_d = p_{max}; \\ \text{при } p_{min} < p_d < p_{max}; \\ \text{при } p_d = p, \end{cases} \quad (1)$$

отсекаемую от следящего элемента, и тем самым повысить стабильность регулирования давления в питающей части (рисунок 3).

Для определения факторов, влияющих на стабильность и надежность работы питающей части пневмосистемы, необходимо исследование динамически процессов, происходящих в ее узлах.

С точки зрения происходящих в нем динамических процессов регулятор давления представляет собой сложную пневматическую систему автоматического регулирования. Некоторые исследователи при использовании традиционных методик расчета разбивают математическое описание функционирования системы на ряд отдельных этапов. Однако из-за наличия обратных связей это приводит к некоторой искусственности описания взаимосвязанных процессов, принятию допущений, что, в конечном итоге искажает реальной работы питающей части пневматической системы. Кроме того, при этом получаются громоздкие системы однотипных дифференциальных уравнений, при решении которых при определенных сочетаниях конструктивных параметров узла возможны погрешности до 200–300 % [7, 8].

С учетом изложенного, а также основываясь на разработанных принципах построения математических моделей пневматических цепей, приведенных в [9, 10], составлена общая расчетная динамическая схема, представленная на рисунке 2. Обозначения на данной схеме приняты в соответствии с конструктивной расчетной схемой, представленной на рисунке 1. Сопротивления трубопроводов и соединительных магистралей между различными полостями регулятора давления показаны в виде дросселей с постоянными сопротивлениями. Клапанные узлы рассматриваются как дроссельные элементы с переменным сопротивлением. Торováя

заслонка представлена в виде двух пневматических сопротивлений, одно из которых осуществляет связь надпоршневой полости разгрузочного клапана с атмосферой $(\mu f)_{\text{Т. кл. ат.}}$, а другое – с поддиафрагменной полостью $(\mu f)_{\text{Т. кл.}}$. Обратный клапан рассматривается как переменное сопротивление $(\mu f)_{\text{об.}}$, а разгрузочный клапан – как переменное сопротивление $(\mu f)_{\text{р. кл.}}$. Пропускная способность клапанного узла является функцией величины его открытия. Поэтому для определения необходимо найти перемещения клапана.

Принимая во внимание, что процессы, происходящие в регуляторе давления, являются быстропеременными, а клапанные узлы обладают определенной массой, то, с целью получения реальной картины, необходимо учитывать их инерционность. Для этого составляются дифференциальные уравнения, описывающие динамику перемещения клапанов.

Для разгрузочного клапана согласно расчетной схеме (рисунок 1) данное уравнение имеет вид:

$$m_{\text{п}} \cdot \ddot{y}_{\text{п}} = p_{\text{п}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{1\text{р}}^2}{4} - p_{\text{вх}} \cdot \frac{\pi \cdot (d_{1\text{р}}^2 - d_{2\text{р}}^2)}{4} - p_{\text{вх}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{2\text{р}}^2}{4} - c_{\text{р}} \cdot (y_{\text{п}} + y_{\text{п}}^0) + F_{\text{р}}^0 \pm P_{\text{тр.р.}},$$

где $m_{\text{п}}$ – масса элементов разгрузочного клапана;

$d_{1\text{р}}, d_{2\text{р}}$ – диаметры поршня и седла разгрузочного клапана соответственно;

$c_{\text{р}}$ – жесткость пружины разгрузочного клапана;

$F_{\text{р}}^0$ – усилие прижатия разгрузочного клапана к седлу;

$p_{\text{п}}, p_{\text{вх}}, p_{\text{ат2}}$ – давления в соответствующих полостях регулятора давления;

$P_{\text{тр.р.}}$ – силы трения при перемещении поршня разгрузочного клапана;

$y_{\text{п}}^0$ – предварительная деформация пружины разгрузочного клапана.

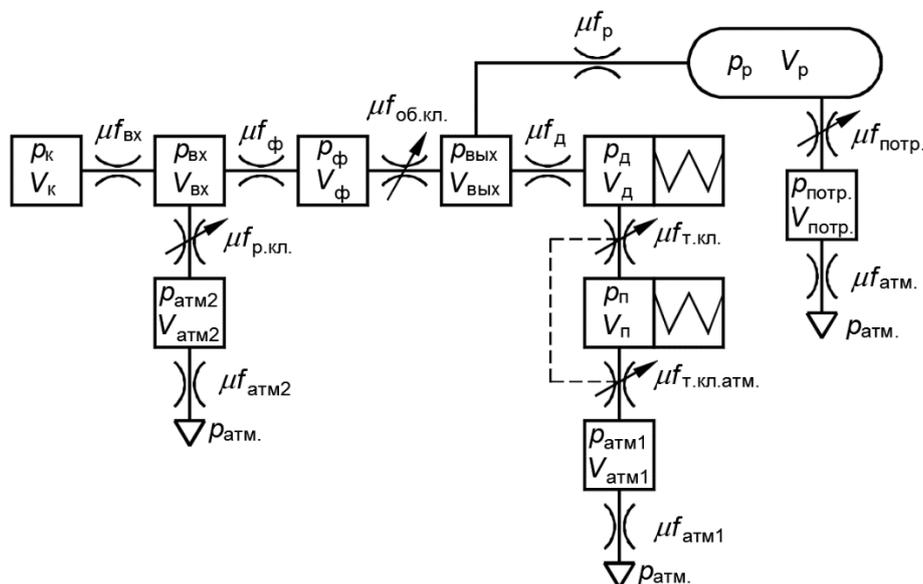


Рисунок 2 – Динамическая расчетная схема питающей части пневмосистемы

Для обратного клапана получим

$$S_{\text{пос}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{пос}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{шт}} + d_{\text{т}} \cdot \cos(\alpha_{\text{т}}))}{4},$$

где $m_{\text{об}}$ – масса обратного клапана;

$d_{1\text{об}}, d_{2\text{об}}$ – внутренний и наружный диаметры седла обратного клапана;

$c_{\text{об}}$ – жесткость пружины обратного клапана;

$p_{\text{ф}}$ – давление в полости за фильтром;

$F_{\text{об}}^0$ – усилие поджатия обратного клапана к седлу;

$y_{\text{об}}^0$ – предварительная деформация пружины обратного клапана.

Наличие упругости у торového клапана, величина которой оказывает влияние на характеристики регулятора давления, вызывает необходимость рассмотрения работы этого узла, являющегося основным задающим элементом

рассматриваемого регулятора давления. Расчетная схема торообразной заслонки представлена на рисунок 3.

Усилие предварительной деформации тора в радиальном направлении

$$F_{\text{тор}}^0 = c_{\text{тор}} \cdot (D_0 - D_{\text{св}}),$$

где $c_{\text{тор}}$ – жесткость тора в радиальном направлении;

$D_{\text{св}}$ – диаметр тора в свободном состоянии;

D_0 – диаметр тора при его посадке в канавку штока.

Для определения составляющей усилия штока на деформацию тора составим уравнение моментов относительно точки A . Отсюда получаем:

$$F_{\text{шт}} = c_{\text{тор}} \cdot \Delta x \cdot \text{tg}(\alpha_{\text{T}}),$$

где величина α_{T} определяется при помощи выражения:

$$\alpha_{\text{T}} = \arcsin \left(1 - 2 \cdot \frac{a + y_{\text{T}}^0 - y_{\text{д}}}{d_{\text{T}}} \right).$$

Радиальную деформацию торообразной заслонки можно вычислить следующим образом:

$$\Delta x = d_{\text{T}} \cdot \cos(\alpha_{\text{T}}) - \sqrt{d_{\text{T}}^2 - b^2}.$$

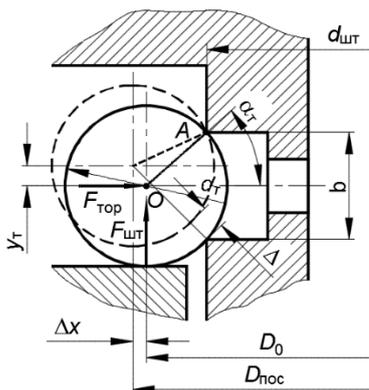


Рисунок 3 – Расчетная схема торообразной заслонки

Кроме радиальной деформации торового элемента осуществляется также его деформация в осевом направлении и усилие, возникающее при этом определяется:

$$F_{\text{т.ос.}} = c_{\text{т.ос.}} \cdot (y_{\text{T}}^0 - y_{\text{T}}),$$

где $c_{\text{т.ос.}}$ – жесткость тора в осевом направлении;

y_{T}^0 – начальная деформация тора в осевом направлении.

Для определения перемещения торового элемента в осевом направлении необходимо рассмотреть уравнение равновесия следящего элемента:

$$p_{\text{д}} \cdot (S_{\text{д}} - S_{\text{пос}}) + p_{\text{п}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{шт}}^2}{4} + F_{\text{т.ос.}} + F_{\text{шт}} - (F_{\text{уп}}^0 + c_{\text{уп}} \cdot y_{\text{д}}) = 0.$$

Отсюда

$$y_{\text{д}} = \left(p_{\text{д}} \cdot (S_{\text{д}} - S_{\text{пос}}) + p_{\text{п}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{шт}}^2}{4} + F_{\text{т.ос.}} + F_{\text{шт}} - F_{\text{уп}}^0 \right) / c_{\text{уп}},$$

где $F_{\text{уп}}^0$, $c_{\text{уп}}$ преднатяг и жесткость уравновешивающей пружины.

Площадь, отсекаемая торовым элементом, определяется согласно рисунку 5 по выражению:

$$S_{\text{пос}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{пос}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{шт}} + d_{\text{T}} \cdot \cos(\alpha_{\text{T}}))^2}{4}.$$

При отрыве тора от седла $D_{\text{пос}} = d_{\text{шт}}$.

Тогда открытие регулирующего клапана:

$$y_{\text{T}} = y_{\text{д}} - b/2 + d_{\text{T}}/2 + a - y_{\text{T}}^0.$$

Величина открытия атмосферного клапана может быть получена из анализа кинематики движения тора:

$$\Delta = \sqrt{\left(d_{\text{T}}/2 \right)^2 + b^2 - d_{\text{T}} \cdot b \cdot \sin(\alpha_{\text{T}}) - d_{\text{T}}/2}.$$

Из уравнений, описывающих клапанные узлы, определяются перемещения клапанов, на основании которых вычисляются пропускные способности, используемые при составлении дифференциальных уравнений питающей части пневматической системы.

Построенные по результатам реализации приведенных математических моделей динами-

ческие характеристики питающей части пневматического привода представлены на рисунке 4.

Расчеты проводились для различных величин открытия разгрузочного клапана, что позволило определить влияние его хода на динамические процессы в питающей части. Установлено, что при увеличении хода разгрузочного клапана от 0,5 мм до 1,8 мм время разгрузки компрессора, которое длилось по времени падения давления во входной полости регулятора до некоторой установившейся величины, уменьшилось с 1,6 с до 0,8 с, т. е. практически в два раза. Дальнейшее увеличение хода разгрузочного клапана не оказывает влияние на время разгрузки компрессора.

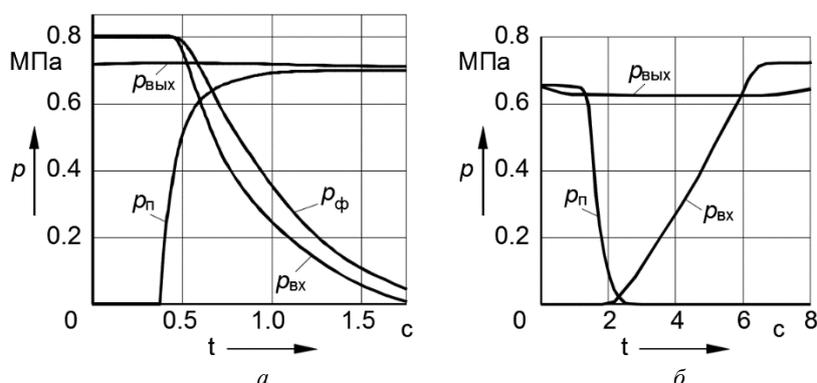


Рисунок 4 – Динамические характеристики питающей части пневмопривода: а – срабатывание на верхнем пределе; б – накачивание воздуха в систему

Кроме того, установлено, что уменьшение соотношения диаметра торовой заслонки и размера проточки на штоке увеличивает силу сопротивления перемещению следящего элемента при открытии атмосферного клапана. На основании расчетов выбрано удовлетворительное с точки зрения быстродействия и сужения диапазона регулирования соотношение размеров сечения торового элемента и ширины кольцевой проточки, а именно, $d_T \approx (1,7 - 1,9) \cdot b$.

Проведенными исследованиями подтверждены изложенные в работе [1] рекомендации по сглаживанию пульсаций сжатого воздуха, поступающего от компрессора в полость следящего элемента регулятора давления. Как указывает вышеприведенный автор, пульсации можно сгладить путем уменьшения проходного сечения отверстия между выходной и поддиафрагменной полостями, а также за счет увеличения объема входной полости. В результате проведенных исследования установлено, что с точки зрения снижения нечувствительности регулятора за счет уменьшения его инерционности следует обеспечить достаточную пропускную способность магистрали подвода воздуха к

Из приведенных зависимостей следует, что в процессе разгрузки на фильтрующем элементе имеет место перепад давления, который обеспечивает очистку фильтра за счет удаления загрязнений через разгрузочный клапан.

Проведенные теоретические исследования позволили выявить влияние на пределы регулирования давления соотношения эффективной площади диафрагмы и площади, отсекаемой торовым элементом. Увеличение размеров штока и торовой заслонки приводит к снижению нижнего предела регулирования. В то же время уменьшение сечения торового элемента снижает пропускную способность атмосферного клапана, что увеличивает время закрытия разгрузочного клапана и приводит к возрастанию инерционности регулятора давления.

следящему элементу с одновременным увеличением объема полости перед обратным клапаном. Последнее позволит понизить влияние пульсаций давления на входе в регулятор на точность и стабильность срабатывания разгрузочного устройства и, кроме того, обеспечить более эффективную очистку фильтрующего элемента.

При теоретических исследованиях был рассмотрен вопрос о влиянии места расположения фильтра на характеристики регулятора давления. Как показали расчеты, установка фильтрующего элемента на входе регулятора увеличивает время разгрузки компрессора и, кроме того, компрессор, остается нагружен остаточным давлением, величина которого зависит от материала фильтра и его загрязненности. При высоких уровнях загрязненности остаточное давление достигает значительной величины, что увеличивает нагруженность компрессора и приводит к снижению его долговечности, а также может вызвать разрушение фильтрующего элемента.

Установка фильтрующего элемента на выходе регулятора обеспечивает быструю разгрузку компрессора и остаточное давление на выходе последнего определяется пропускными способностями соединительного трубопровода и разгрузочного клапана и составляет 0,01–0,02 МПа. При этом фильтрующий элемент очищается обратным потоком воздуха. Причем, с целью обеспечения эффективной очистки фильтра необходимо увеличивать соотношение объемов полости за фильтром и входной полости регулятора давления. Расчеты показала, что увеличение объема зафильтровой полости практически не оказывает влияния на время разгрузки компрессора. В то же время на фильтре создается некоторый перепад давлений, способствующий более эффективной его очистке.

Заключение

Проведенными исследованиями установлено что с точки зрения снижения нечувствительности регулятора за счет уменьшения его инерционности и лучшей очистки фильтрующего элемента следует обеспечить достаточную пропускную способность магистрали подвода воздуха к следящему элементу с одновременным увеличением объема полости перед обратным клапаном.

Показано, что установка фильтрующего элемента на входе регулятора увеличивает время разгрузки компрессора и, кроме того, компрессор, остается нагружен остаточным давлением, величина которого зависит от материала фильтра и его загрязненности. Установка фильтрующего элемента на выходе регулятора обеспечивает быструю разгрузку компрессора и очистку фильтрующего элемента обратным потоком воздуха.

Расчеты показала, что увеличение объема зафильтровой полости практически не оказывает влияния на время разгрузки компрессора. В то же время на фильтре создается некоторый перепад давлений, способствующий более эффективной его очистке.

Проведенные теоретические исследования позволили выявить влияние на пределы регулирования давления соотношения эффективной площади диафрагмы и площади, отсекаемой торвым элементом. На основании расчетов выбрано удовлетворительное с точки зрения быстродействия и сужения диапазона регулирования соотношение размеров сечения торвого элемента и ширины кольцевой проточки, а именно, $d_T \approx (1,7 - 1,9) \cdot b$.

Литература

1. Барташевич, Л. В. Исследование питающей части пневмосистемы трактора класса 14 кН : Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : (05.05.03). – Минск, 1979. – 22 с.
2. Ходосовский, В. М. Повышение качества подготовки сжатого воздуха питающей частью пневматического привода мобильных машин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.05.03. – Минск, 1994. – 173 с.
3. Приводы пневматические тормозных систем автотранспортных средств. Технические требования: ГОСТ 4364-81. – М : Стандартинформ, 2006.
4. БЕЛАРУС 1221.2/1221В.2 1221.3. Руководство по эксплуатации. – Минск : ПО «МТЗ», 2009.
5. Козача, И. М. Обеспечение стабильности характеристик и повышение ресурса пневмоаппаратов питающей части пневмосистемы трактора : Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : (05.05.03) / Белорус. политехн. ин-т. – Минск, 1989. – 20 с.
6. Рахлей, А. И. Математическая модель питающей части электропневматического привода тормозов / А. И. Рахлей, А. С. Поварехо // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сборник научных трудов: в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск : Белорус. нац. техн. ун-т, 2021. – Т. 1. – С. 235–241.
7. Поварехо, А. С. К выбору параметров разгрузочного устройства регулятора давления питающей части / А. С. Поварехо, А. И. Рахлей // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : Сборник научных трудов: в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск : Белорус. нац. техн. ун-т, 2021. – Т. 1. – С. 245–250.
8. Рахлей, А. И. Следящий электропневматический тормозной привод модульного типа тракторного поезда : диссертация ... кандидата технических наук : 05.05.03. – Минск, 1993. – 180 с.
9. Метлюк, Н. Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко В. П. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.
10. Богдан, Н. В. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин / Н. В. Богдан. – Мн., 2002. – 426 с.

PAVAREKHA Alexandr S., Ph.D. in Eng., Ass. Prof.,
Associate Professor
E-mail: povarekho@bntu.by

RAHLEY Andrey I., Ph.D. in Eng., Ass. Prof.,
Associate Professor
E-mail: airahley@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 April 2022

SIMULATION OF PROCESSES IN THE SUPPLY PART OF A PNEUMATIC SYSTEM EQUIPPED WITH A PRESSURE REGULATOR WITH A TORUS ELEMENT

The widespread use and improvement at present of various kinds of control systems, automation, tools that improve the working conditions of the operator of vehicles by reducing the effort on the controls, improving the response of controlled objects, increasing the efficiency of braking systems, active drive systems of technological equipment of tractors and other mechanisms leads to the need for use on tractors more and more advanced pneumatic systems with high efficiency, precision of pressure regulation in actuators, a good tracking action and a failure-free operation.

Reliable and efficient operation of pneumatic drives of modern tractors operating in conditions of high dustiness, a wide range of temperatures and humidity, largely depends on the perfection of compressed air preparation systems that ensure its intake from the environment, drying, oil separation and the creation of a sufficient reserve in the receivers for normal operation all consumers.

The main regulating element, on which the quality of the supply part largely depends, is the pressure regulator. The main function of the pressure regulator is to maintain the pressure in the receivers within strictly specified limits. A feature of compressed air preparation systems for BELARUS tractors is the use of single-cylinder compressors in most cases, which determines the specifics of the design of the discharge device of the pressure regulator in order to ensure its clear operation at the upper and lower limits of regulation. This is usually determined by the inertia of the elements of the incoming and unloading device. In this article, a pressure regulator equipped with a torus valve element is considered, a mathematical model is developed and a selection of rational parameters is carried out to ensure high-quality pressure regulation in the tractor system.

Keywords: *pressure regulator, torus valve, static characteristic, dynamic characteristic, control limits, control quality, inertia of the system, unloading device, tracking element, mathematical model.*

References

1. Bartashevich, L. V. Investigation of the feeding part of the pneumatic system of a tractor of class 14 kN : Abstract. dis. on the job. learned. step. Candidate of Technical Sciences : (05.05.03). – Minsk, 1979. – 22 p.

2. Khodosovsky, V. M. Improving the quality of compressed air preparation by the feeding part of the pneumatic drive of mobile machines : dissertation... Candidate of Technical Sciences : 05.05.03. – Minsk, 1994. – 173 p.

3. Pneumatic brake system drives of motor vehicles. Technical requirements: GOST 4364-81. – Moscow : Standartinform, 2006.

4. BELARUS 1221.2/1221V.2 1221.3. Operation Manual. – Minsk, ACCORDING to «MTZ», 2009.

5. Kozacha I. M. Ensuring the stability of the characteristics and increasing the life of the pneumatic devices of the feeding part of the tractor pneumatic system : Abstract. dis. on the job. learned. step. Candidate of Technical Sciences : (05.05.03) / Belarusian polytech. in-t. – Minsk, 1989. – 20 p.

6. Rakhlei, A. I. Mathematical model of the feeding part of the electropneumatic brake drive / A. I. Rakhlei, A. S. Povarekho // Avtotractorostroenie and automobile transport : collection of scientific papers: in 2 t. / Belarusian. national

Technical. un-t; editorial board: ed. D. V. Kapsky [et al.]. – Minsk : Belorusus. national Tech. un-t, 2021. – Vol. 1. – P. 235–241.

7. Povarekho, A. S. To the choice of parameters of the unloading device of the pressure regulator of the melting part / A. S. Povarekho, A. I. Rakhley // Avtotractorostroenie and automobile transport : Collection of scientific papers: in 2 t. / Belarusian. national Tech. un-t; editorial board: ed. D. V. Kapsky [et al.]. – Minsk : Belorusus. national Tech. un-t, 2021. – Vol. 1. – P. 245–250.

8. Rahley, A. I. Tracking electropneumatic brake drive of modular type of tractor train : dissertation ... Candidate of Technical Sciences : 05.05.03. – Minsk, 1993. – 180 p.

9. Metlyuk, N. F., Avtushko V. P. Dynamics of pneumatic and hydraulic drives of cars / N. F. Metlyuk, V. P. Avtushko. – M.: Mechanical engineering, 1980. – 231 p.

10. Bogdan, N. V. Hydropneumoautomatics and hydraulic drive of mobile machines / N. V. Bogdan., – Mn., 2002 – 426 p.

УДК 62-523.3

СЕВРУК В. С.,

инж.-констр. 1 кат.

E-mail: viktrsevruk@rambler.ru

ОАО «Минский завод колесных тягачей», г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.05.2022.

РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТОРМОЗА-ЗАМЕДЛИТЕЛЯ С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОАО МЗКТ

Гидравлические тормозы-замедлители имеют большой потенциал в части применения на технике специального и двойного назначения: в результате их применения снижается нагрузка на рабочую тормозную систему, повышаются дорожные характеристики автомобиля. Однако в настоящее время большинство выпускаемых тормозов-замедлителей производятся зарубежными фирмами. Системы управления такими тормозами-замедлителями, как правило, освещаются крайне слабо, их алгоритмы и принципы работы зачастую неизвестны. Таким образом, при разработке собственной системы управления гидравлическим тормозом-замедлителем большую роль играют стендовые испытания узла, которые включают в себя запись всех параметров работы узла с дальнейшим анализом полученных данных. В данной работе приводятся результаты испытаний гидравлического тормоза-замедлителя производства ОАО «МЗКТ» в стендовых условиях с оригинальной системой управления. Данная система управления имеет обратную связь по давлению на входе в тормоз-замедлитель, в результате чего обеспечивается точное и плавное регулирование величины тормозного момента. Описывается принцип работы и особенности применения системы управления тормозом-замедлителем, производится анализ полученных данных. На основе собранной информации делается заключение о принципах регулирования тормозного момента, создаваемого тормозом-замедлителем при помощи системы управления собственной разработки.

Ключевые слова: трансмиссия, гидромеханическая передача, гидравлический тормоз-замедлитель, ретардер, система автоматического управления, обратная связь по давлению, стендовые испытания.

Введение

В настоящее время на ОАО «МЗКТ» продолжается комплекс опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ по созданию гидравлического тормоза-замедлителя (ГТЗ) собственного производства, а также системы управления к нему. Тормоз-замедлитель – это устройство, состоящее из двух лопастных колес (статора и ротора), расположенное, как правило, на выходном валу коробки передач и предназначенное для формирования тормозного момента путем создания гидродинамического сопротивления вращению лопаток ротора [1]. Величина тормозного момента может задаваться как вручную (самим водителем исходя из текущих дорожных условий), так и автоматически (блоком управления ГТЗ для помощи рабочей тормозной системе при штатном торможении автомобиля). В обоих случаях система управления (СУ) ГТЗ должна создать нужный тормозной момент вне зависимости от каких-либо внешних условий, например, температуры масла, частоты вращения элементов трансмиссии и т. д. Следовательно, в системе управления тормозом-замедлителем должен присутствовать какой-то параметр, какая-то обратная связь, которая позволила бы компенсировать всевозможные сторонние воздействия и создать тормозной момент нужной величины. Поиску и проверке таких параметров посвящена данная статья, где будет показан один из этапов этой работы.

Общему устройству ГТЗ посвящен ряд работ, например, [2, 3]. Однако устройству систем управления ГТЗ уделяется, как правило, не так много внимания. Поэтому для того, чтобы определить и проверить параметры обратной связи для системы управления ГТЗ, было решено воспользоваться практическим методом: провести стендовые испытания тормоза-замедлителя, во время которых при помощи набора датчиков фиксировать параметры работы ГТЗ. В предыдущей работе [4] рассматривался начальный этап таких испытаний: на ГТЗ была установлена тестовая система управления, проведены испытания ГТЗ в различных режимах работы, записаны все полученные при испытаниях параметры и проведен их анализ для определения наиболее подходящего параметра обратной связи. Как следовало из [4], наиболее подходящий параметр обратной связи – это давление на входе в ГТЗ: при увеличении давления происходило плавное увеличение тормозного момента на всех режимах работы ГТЗ. Полученные в результате работы [4] выводы легли в основу разработки новой системы управления ГТЗ производства ОАО «МЗКТ»,

об устройстве и испытаниях которой пойдет речь в данной статье.

Описание испытательного стенда

Состав испытательного стенда аналогичен стенду в работе [4]. ОАО «МЗКТ» имеет большой опыт разработки и производства гидромеханических передач (ГМП) [5], поэтому тип разрабатываемого ГТЗ – совмещенный с ГМП. Соответственно, испытательный стенд включает в себя гидромеханическую передачу 2 (см. рисунок 1) и совмещенный с ней ретардер 3.

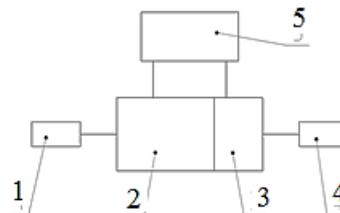


Рисунок 1 – Схема испытательного стенда:
1, 4 – электродвигатели; 2 – ГМП; 3 – ГДТ;
5 – маслоохладитель

К ним подсоединены два электродвигателя 1 и 4, а также маслоохладитель 5. Электродвигатель 1 используется для вращения насосного колеса ГМП и связанного с ним переднего насоса ГМП, в результате чего масло подается из масляного поддона в гидравлические магистрали ГМП и ГТЗ. Электродвигатель 4 используется для вращения ротора ГТЗ. Маслоохладитель 5 используется для охлаждения масла, поступающего с выхода гидродинамического трансформатора (ГДТ) или с выхода ГТЗ. ГМП во время испытаний находится в состоянии «нейтрал», вследствие чего планетарные ряды основной коробки передач в процессе испытаний не участвуют.

Описание электронной части СУ ГТЗ

Использованные во время испытаний электронные компоненты СУ ГТЗ также аналогичны работе [4]. В качестве основы для управления СУ ГТЗ использовался микроконтроллер K1986BE91T российской компании Миландр [6]. Данный микроконтроллер имеет широкий рабочий температурный диапазон (от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$), большое число портов ввода-вывода, высокую производительность, а также широкий набор обучающей литературы и технической информации с примерами кодов программ, которые предоставляются непосредственно разработчиком микроконтроллера и находятся в свободном доступе [7, 8, 9]. Непо-

средственно работа велась на отладочном комплекте для данного микроконтроллера, схема которого представлена на рисунке 2.

В программном обеспечении СУ ГТЗ, использовавшемся во время испытаний, кроме алгоритмов непосредственного управления ГТЗ были также задействованы алгоритмы защиты ГТЗ от возможных аварийных ситуаций [10].

В выключенном состоянии (см. рисунок 3, а) система работает следующим образом. При помощи переднего насоса НП масло из масляного поддона через фильтр-заборник ФЗ и обратный клапан переднего насоса КО1 поступает к золотнику клапана главного давления К1. Параллельно масло поступает на торец золотника К1 и на вход ЭГМ ГТЗ, который находится в выключенном состоянии (обесточен). Когда давление масла на торец К1 превысит значение, равное величине главного давления ГМП, клапан откроется и масло поступит далее на клапан ограничения входного давления в ГДТ К2.

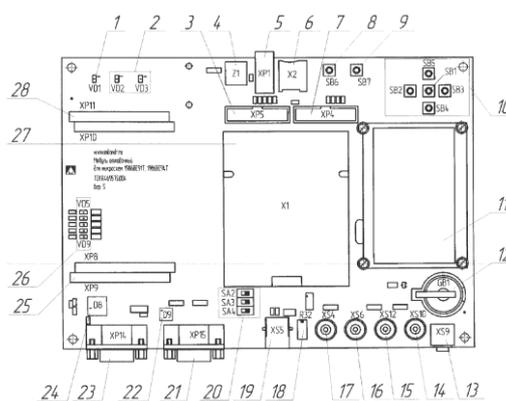


Рисунок 2 – Схема комплекта отладочного для микросхем К1986ВЕ91Т [8]

Описание и принцип работы новой СУ ГТЗ

На основании выводов, сделанных по итогам работы [4], была разработана и изготовлена новая система управления ГТЗ с функцией обратной связи по давлению на входе ГТЗ. Гидравлическая схема данной системы управления представлена на рисунке 3.

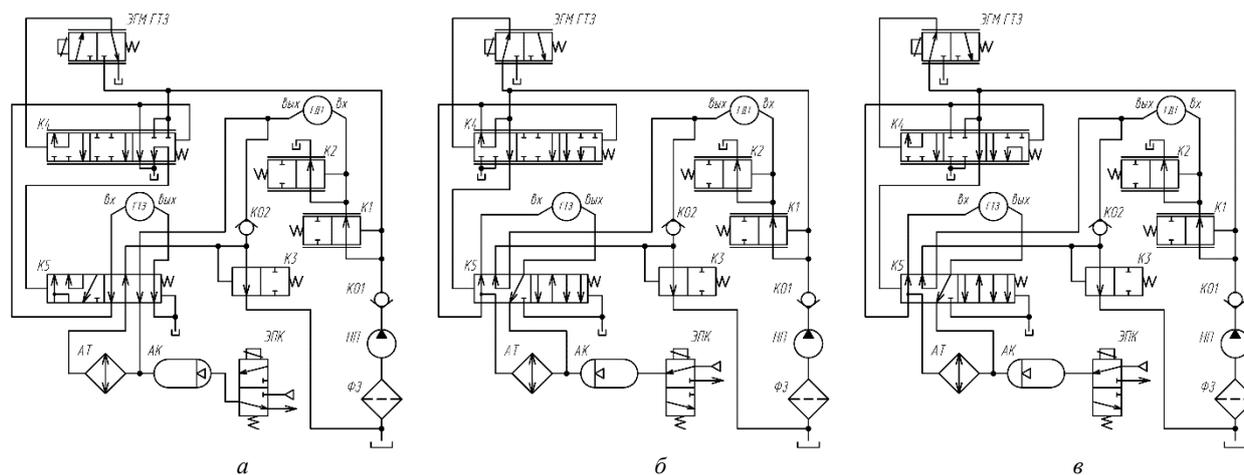


Рисунок 3 – Гидравлическая схема новой СУ ГТЗ:

а – ГТЗ выключен; б – ГТЗ включен, тормозной момент нарастает; в – ГТЗ включен, тормозной момент постоянный; ФЗ – фильтр-заборник ГМП; НП – насос передний ГМП; КО1 – обратный клапан переднего насоса ГМП; КО2 – перепускной клапан маслоохладителя; К1 – клапан главного давления ГМП; К2 – клапан ограничения входного давления в ГДТ; К3 – подпорный клапан ГМП; К4 – клапан подачи масла в ГТЗ; К5 – клапан переключения потоков ГТЗ; АТ – аппарат теплообменный (маслоохладитель); АК – гидропневмоаккумулятор; ЭГМ ГТЗ – электрогидравлический модуль управления ГТЗ; ЭПК – электропневматический клапан управления гидропневмоаккумулятором

Данный клапан, как видно из его названия, служит для ограничения входного давления ГДТ: при увеличении давления сверх установленной нормы клапан открывается и сбрасывает лишнее масло обратно в поддон ГМП. Далее масло поступает в ГДТ, с выхода которого приходит на клапан переключения потоков ГТЗ К5. Клапан К5 управляется при помощи сигнала от клапана К4, а поскольку, как уже упоминалось ранее, ЭГМ ГТЗ выключен, то клапан К4, а от него и К5, также находятся в выключенном положении. Вследствие этого масло направляется из клапана К5 в маслоохладитель

АТ, параллельно заполняя гидропневмоаккумулятор АК. В выключенном состоянии системы сжатый воздух от электропневматического клапана ЭПК не подается в полость с правой стороны поршня аккумулятора, вследствие чего масло под давлением с выхода ГДТ перемещает поршень в крайнее правое положение и заполняет аккумулятор. Далее масло возвращается в клапан К5, затем проходит через подпорный клапан К3 и сбрасывается обратно в поддон ГМП. В данной схеме присутствует также перепускной клапан КО2, который служит для

предохранения системы от повреждения в случае засорения маслоохладителя: если маслоохладитель засорится и давление перед его входом начнет повышаться, то клапан КО2 откроется и поток масла пойдет в обход маслоохладителя.

ГТЗ находится в выключенном состоянии, поскольку его вход и выход соединены со сливом: вход – последовательно через клапаны К5 и К4, а выход – через клапан К5. Соединение входа ГТЗ со сливом в выключенном состоянии ГТЗ – это одно из преимуществ данной системы управления по сравнению с [4], где вход ГТЗ в выключенном состоянии был перекрыт. В системе управления [4] из-за перекрытия создавалось паразитное разрежение на входе в ГТЗ во время выключения ГТЗ, из-за чего ретардер опорожнялся (а значит, и выключался) медленнее. В данной работе в системе управления этот фактор учтен, и благодаря соединению входа ГТЗ со сливом ретардер опорожняется без задержек.

Таким образом, при выключенном состоянии СУ ГТЗ ретардер также выключен (не создает тормозного момента), его контур соединен со сливом и не содержит масла, гидропневмоаккумулятор полностью заполнен, масло с выхода ГДТ поступает в маслоохладитель, а ГТЗ с маслоохладителем никак не связан.

Теперь рассмотрим, как работает СУ ГТЗ в процессе включения (см. рисунок 3, б). Для включения ГТЗ необходимо подать напряжение на ЭГМ ГТЗ (поскольку данный электроклапан является пропорциональным, то величина изначально поданного напряжения должна быть меньше максимальной, иначе ГТЗ сразу включится на полную мощность). От ЭГМ ГТЗ масло поступает к торцу золотника клапана К4 и переключает его во включенное положение. От клапана К4, в свою очередь, включается клапан К5, после чего начинается заполнение ГТЗ маслом и, соответственно, ГТЗ включается. Рассмотрим работу клапанов К4 и К5 подробнее.

Клапан К5 служит для переключения потоков масла, проходящих через ГДТ и ГТЗ. Как было сказано выше, в исходном состоянии клапан подключает к маслоохладителю выходы ГДТ, а ГТЗ от маслоохладителя отключается. При подаче давления на торец золотника клапан переходит во включенное положение, в результате чего масло от выхода ГДТ поступает не на маслоохладитель, а сразу сливается в поддон ГМП. В свою очередь, ГТЗ и маслоохладитель образуют замкнутый контур: масло с выхода ГТЗ поступает к клапану К5, затем к маслоохладителю, далее снова к клапану К5

и затем обратно на вход ГТЗ. Таким образом, рабочий контур ГТЗ всегда будет заполнен достаточным количеством масла: не важно, какое количество масла поступило на выход ГТЗ – в любом случае обратно на вход вернется то же самое количество. В результате, по сравнению с системой управления в работе [4], рабочие процессы ГТЗ не зависят от величины расхода масла через ГДТ и подачи насоса ГМП.

Клапан К4 служит для двух целей: включения/выключения клапана К5 и управления тормозным моментом ГТЗ. Что касается управления клапаном К5, то оно осуществляется относительно просто: канал, по которому подается масло для включения К5, находится под давлением во всех рабочих положениях золотника К4 (то есть во всех положениях, кроме исходного). Управление же тормозным моментом осуществляется на принципе уравнивания трех сил: с одной стороны – усилие от управляющего давления ЭГМ ГТЗ, с другой стороны – усилие от пружины клапана К4 и от давления в входе ГТЗ. Управляющее давление ЭГМ ГТЗ действует на рабочий торец золотника К4 и определяется исходя из условий торможения либо самим водителем, либо автоматически блоком управления ГТЗ. Усилие пружины К4 заранее известно и определяется при разработке СУ ГТЗ. Давление на входе ГТЗ действует на золотник К4 со стороны подпружинной полости и может изменяться в зависимости от режима работы ГТЗ.

Таким образом, в начале процесса включения ГТЗ (рисунок 3, б) давление на входе ГТЗ равно 0, поэтому золотник К4 под действием давления ЭГМ ГТЗ перемещается в крайнее положение. Вследствие этого масло из магистрали главного давления ГМП начинает подпитывать вход ГТЗ. Рабочая полость ГТЗ начинает заполняться маслом, в результате чего начинает повышаться тормозной момент ГТЗ и давление на входе ГТЗ. По мере нарастания давления на входе ГТЗ увеличивается соответствующее усилие на золотнике К4, вследствие чего он начинает перемещаться в обратном направлении. Как только давление (и, соответственно, тормозной момент) достигают заданного значения, золотник К4 уравнивается в среднем положении (рисунок 3, в), в котором подпитка маслом входа ГТЗ прекращается. ГТЗ переходит в режим установившейся работы.

Если требуется увеличить тормозной момент, то необходимо повысить управляющее давление от ЭГМ ГТЗ. В результате СУ ГТЗ вновь перейдет в состояние (рисунок 3, б), пока давление на входе ГТЗ не поднимется еще выше и снова не уравнивается управляющее

воздействие, вернув систему в состояние (рисунок 3, в). Для уменьшения тормозного момента алгоритм действий, соответственно, обратный: нужно понизить давление ЭГМ ГТЗ, чтобы снизить давление на входе ГТЗ.

При включении ГТЗ также происходит включение клапана ЭПК, отвечающего за подачу сжатого воздуха в полость справа от поршня аккумулятора АК. При включении данного клапана воздух подается к поршню, перемещает его в крайнее левое положение и тем самым выдавливает находящееся в аккумуляторе масло в контур ГТЗ. Это делается для того, чтобы внутренняя полость ретардера заполнилась маслом как можно быстрее, тем самым увеличив быстрдействие системы управления.

Данная схема СУ ГТЗ предусматривает защиту ретардера в случае заклинивания золотника клапана К5. Если золотник заклинивает во

включенном положении, в то время как ГТЗ должен быть выключен (рисунок 4, а), то тормозного момента создаваться не будет, так как контур ГТЗ будет соединен со сливом через клапан К4, а подпитка маслом ГТЗ останется перекрытой клапаном К4. При этом ГДТ будет отрезан от маслоохладителя, из-за чего масло в ГМП начнет усиленно нагреваться, что можно будет продиагностировать при помощи штатного температурного датчика ГМП. Если же золотник заклинит в выключенном положении, в то время как ГТЗ должен быть включен (рисунок 4, б), то начнет создаваться тормозной момент небольшой величины, так как подпитка входа ГТЗ будет включена, но выход ГТЗ останется соединен со сливом. При этом ГДТ точно так же будет отрезан от маслоохладителя, что, соответственно, отразится на показаниях штатного температурного датчика ГМП.

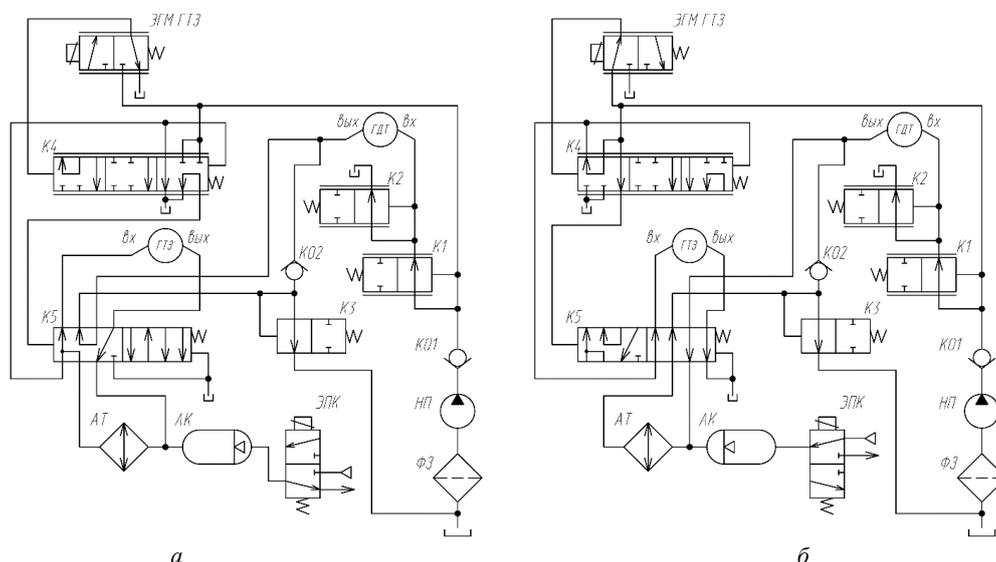


Рисунок 4 – Гидравлическая схема СУ ГТЗ в случае заклинивания клапана К5:
 а – ГТЗ выключен, золотник заклинил во включенном положении;
 б – ГТЗ включен, золотник заклинил в выключенном положении

Результаты стендовых испытаний ГТЗ

В ходе стендовых испытаний новой системы управления к ретардеру был подключен тот же массив датчиков, что и в предыдущей работе [4]:

- частота вращения входного вала ГМП;
- частота вращения выходного вала ГТЗ;
- момент на выходном валу ГТЗ;
- температура масла на выходе из ГДТ;
- давление масла на выходе из ГДТ;
- температура масла на входе в ГТЗ;
- давление масла на входе в ГТЗ;
- расход масла на входе в ГТЗ;
- температура масла на выходе из ГТЗ.

Испытания ГТЗ проводились во всем диапазоне рабочих параметров. По результатам

испытаний был получен массив данных, который для удобства был сведен в графики зависимостей тормозного момента, частоты вращения выходного вала ГТЗ и широтно-импульсной модуляции (ШИМ). На рисунке 5 показана качественная зависимость тормозного момента от ШИМ на ЭГМ ГТЗ при частоте вращения выходного вала ГТЗ 1000 об/мин. Как видно из графика, при увеличении управляющего усилия (каковым и является значение ШИМ) тормозной момент плавно повышается. Таким образом, испытание подтвердило, что новая СУ ГТЗ способна создавать и плавно регулировать тормозной момент в зависимости от потребностей водителя или условий движения автомобиля.

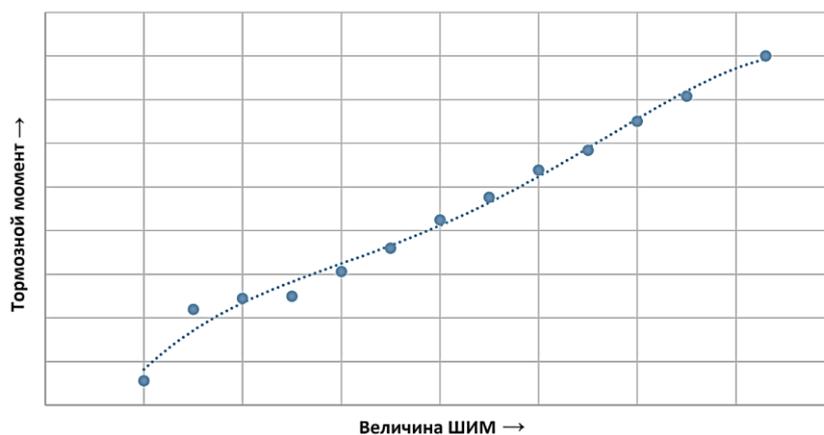


Рисунок 5 – Качественная зависимость тормозного момента от ШИМ при частоте вращения выходного вала ГТЗ 1000 об/мин

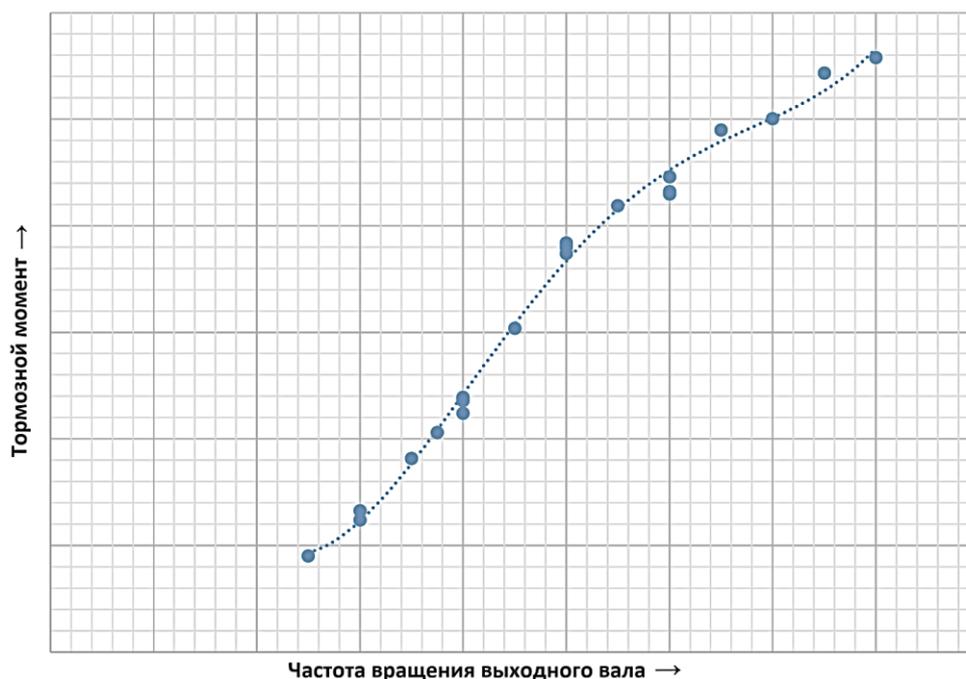


Рисунок 6 – Качественная зависимость тормозного момента от частоты вращения выходного вала ГТЗ при 100 % ШИМ

На рисунке 6 показана качественная зависимость тормозного момента от частоты вращения выходного вала ГТЗ при 100 % ШИМ на ЭГМ ГТЗ. Как видно из данного графика, тормозной момент непрерывно повышается по мере увеличения частоты вращения выходного вала. Данный результат говорит о том, что решение создать замкнутый контур «ГТЗ-маслоохладитель» было верным: даже на высоких частотах вращения в контуре ГТЗ сохраняется достаточное количество масла, чтобы создавать соответствующий тормозной момент.

Заключение

На ОАО МЗКТ была разработана и испытана в стендовых условиях СУ ГТЗ с функцией обратной связи по давлению на входе ГТЗ. Результаты испытаний показали, что новая СУ ГТЗ способна создавать и плавно регулировать

тормозной момент на различных режимах работы ГТЗ. Таким образом, были еще раз подтверждены сделанные в работе [4] выводы о том, что в качестве параметра обратной связи для СУ ГТЗ необходимо использовать давление на входе ГТЗ. Далее необходимо более подробно исследовать характер изменения тормозного момента ГТЗ в зависимости от управляющего сигнала и частоты вращения выходного вала. Данные изыскания будут проводиться в ходе дальнейших исследований.

Литература

1. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть : учеб. пособие для вузов / А. И. Гришкевич [и др.] ; под ред. А. И. Гришкевича. – Мн. : Вышэйшая школа, 1987. – 200 с.

2. Гавриленко, Б. А. Гидравлические тормоза / Б. А. Гавриленко, В. А. Минин, Л. С. Оловников. – М. : Машгиз, 1961. – 244 с.
3. Стесин, С. П. Лопастные машины и гидродинамические передачи : учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / С. П. Стесин, Е. А. Яковенко. – М. : Машиностроение, 1990. – 240 с.
4. Севрук, В.С. Результаты стендовых испытаний гидравлического тормоза-замедлителя производства ОАО «МЗКТ» / В.С. Севрук // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения нац. академии наук Беларуси; редкол.: С. Н. Поддубко [и др.]. – 2021. – Вып. 10. – С. 28–32.
5. Гидромеханическая передача Volat [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.volatdefence.com/katalog/komplektuyushhie/gidromehanicheskie-peredachi/>. – Дата доступа: 12.10.2022.
6. Официальный сайт АО «ПКК Миландр» – разработчик и производитель интегральных микросхем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.milandr.ru/>. – Дата доступа: 12.10.2022.
7. Микросхема 32-разрядного однокристалльного микро-ЭВМ с памятью Flash-типа 1986BE9ху, К1986BE9ху, К1986BE9хуК, К1986BE92QI, К1986BE92QC, 1986BE91H4, К1986BE91H4, 1986BE94H4, К1986BE94H4. – АО «ПКК Миландр», 2020. – 533 с.
8. Комплект отладочный для микросхем 1986BE91Т, 1986BE94Т. Паспорт ТСКЯ.468998.014ПС. – АО «ПКК Миландр», 2017. – 21 с.
9. Благодаров, А. В. Программирование микроконтроллеров: методическое пособие на основе отечественных микросхем семейства 1986BE9х разработки и производства компании «Миландр» / А. В. Благодаров, Л. Л. Владимиров. – Зеленоград, 2016. – 242 с.
10. Севрук, В. С. Разработка алгоритма защитных функций САУ ретардером ГМП = Development of the HMT retarder automatic control system protection algorithm / В. С. Севрук, О. С. Руктешель // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сборник научных трудов : в 2 т. / Белорусский национальный технический университет, Автотракторный факультет ; редкол.: Д. В. Капский (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 68–70.

SEVRUK Victor S.,
Design engineer of the 1st category
E-mail: viktrsevruc@rambler.ru

JSC Minsk Wheel Tractor Plant, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 May 2022

THE RESULTS OF BENCH TESTS OF THE HYDRAULIC RETARDER WITH A CONTROL SYSTEM PRODUCED BY JSC MWTP

Hydraulic retarders have great potential in terms of application on special and dual-purpose vehicles: as a result of their use, the load on the main braking system is reduced, the road characteristics of the car are increased. However, at present, most of the retarders produced are produced by foreign companies. The control systems of such retarders, as a rule, are very poorly illuminated, their algorithms and principles of operation are often unknown. Thus, when developing its own control system for a hydraulic retarder, bench tests of the unit play an important role, which include recording all the parameters of the unit's operation with further analysis of the data obtained. This article presents the results of tests of a hydraulic retarder manufactured by JSC "MWTP" in bench conditions with an original control system. This control system has a feedback on the pressure at the entrance to the retarder, as a result of which an accurate and smooth regulation of the braking torque is provided.

Keywords: transmission, hydromechanical transmission, hydraulic retarder, automatic control system, pressure feedback, bench tests.

References

1. Cars: Construction, constructing and calculation. Control systems and chassis : textbook for universities / A. I. Grishkevich [et al.] ; edited by A. I. Grishkevich. – Mn. : Higher School, 1987. – 200 p.
2. Gavrilenko, B. A. Hydraulic brakes / B. A. Gavrilenko, V. A. Minin, L. S. Olovnikov. – M. : Mashgiz, 1961. – 244 p.
3. Stesin, S. P. Paddle machines and hydrodynamic gears : Textbook for university students in the specialty "Hydraulic machines, hydraulic drives and hydropneumoautomatics" / S. P. Stesin, E. A. Yakovenko. – M. : Mechanical Engineering, 1990. – 240 p.
4. Sevruc, V.S. The results of bench tests of the hydraulic retarder produced by JSC MWTP / V. S. Sevruc // Actual issues of machine science : collection of scientific works / United institute of Mechanical Engineering National Academy of Sciences of Belarus; editorial board: S. N. Poddubko [et al.]. – 2021. – Iss. – 10. – P. 28–32.
5. Hydro-mechanical transmission Voith [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.volatdefence.com/katalog/komplektuyushhie/gidromehchanicheskie-peredachi/>. Date of access: 12.10.2022.
6. The official website of JSC «ICC Milandr» – developer and manufacturer of integrated circuits [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.milandr.ru/>. – Date of access: 12.10.2022.
7. Chip 32-bit single-chip microcomputer with Flash-type memory 1986VE9X, K1986VE9X, K1986ve9x, K1986VE92QI, K1986VE92QC, 1986VE91N4, K1986VE91N4, 1986VE94N4, K1986VE94N4. – JSC «ICC Milandr», 2020. – 533 p.
8. Debugging kit for chips 1986VE91T, 1986VE94T. Passport TSKYA.468998.014PS. – JSC "PKK Milander", 2017. – 21 p.
9. Blagodarov, A.V. Programming of microcontrollers: a methodological guide based on domestic chips of the 1986VE9X family developed and manufactured by the Milandr company / A. V. Blagodarov, L. L. Vladimirov. – Zelenograd, 2016. – 242 p.
10. Sevruc, V. S. Development of the HMT retarder automatic control system protection algorithm / V. S. Sevruc, O. S. Ruckteschell // Automotive engineering and road transport : collection of scientific papers : in 2 volumes / Belarusian National Technical University, Automotive Faculty ; editor: D. V. Kapsky (ed.) [et. al.]. – Minsk: BNTU, 2020. – Vol. 1. – P. 68–70.

ЖДАНОВИЧ Ч. И., канд. техн. наук, доц.,
доцент каф. «Тракторы»
E-mail: chzhdanovich@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.10.2022

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА ТРАКТОРА В СОСТАВЕ ПАХОТНОГО АГРЕГАТА

В системе традиционного земледелия широко применяется вспашка почв. Для повышения качества вспашки и производительности пахотных агрегатов используют мощные тракторы и оборотные полунавесные плуги. Связь трактора с плугом осуществляется посредством навесного устройства с электрогидравлической системой автоматического регулирования глубины обработки почвы. Для выбора типа и параметров системы автоматического регулирования глубины обработки почвы, согласования режимов работы трактора и плуга целесообразно на стадии проектирования иметь возможность проведения кинематического и силового анализа навесного устройства, определения угловых перемещений, воспринимаемых датчиком положения и сил, воздействующих на датчики усилий. С этой целью разработана математическая модель навесного устройства трактора, агрегируемого с полунавесным оборотным плугом. При разработке модели проведен анализ угловых перемещений тяг, раскосов, рычагов навесного устройства в режиме настройки глубины пахоты и режиме пахоты, а также величины и направления сил, действующих на них. Также учитывается тяговое сопротивление плуга и работа системы автоматического регулирования глубины обработки почвы. Математическая модель позволяет определять угловые перемещения, воспринимаемые датчиком положения и силы, воздействующие на датчики усилий, усилие, создаваемое гидроцилиндром и давление жидкости в гидроцилиндре, а также провести кинематический и силовой анализ навесного устройства трактора.

Ключевые слова: математическая модель, кинематический анализ, силовой анализ, пахотный агрегат, навесное устройство трактора, система автоматического регулирования, глубина пахоты, датчик усилия, датчик положения.

Введение

Вспашка полей плугами остается одним из основных приемов обработки почвы в нашей стране. Для выполнения сельскохозяйственных работ в оптимальные агротехнические сроки, с учетом фактической контурности полей, требуемых объемов выполнения работ и производительности агрегатов, наибольший объем пахотных работ (70 %) приходится на тракторы тяговых классов 5–6 [1]. Для их загрузки широко внедряются оборотные 8-10-корпусные полунавесные плуги [2]. Для связи трактора с плугом предназначено навесное устройство с электрогидравлической системой регулирования. Рекомендуется использовать смешанный (позиционно-силовой) способ автоматического регулирования глубины пахоты [3, 4]. Система автоматического регулирования, при отклонении тягового сопротивления плуга (измеряется

датчиком усилия) или его позиции относительно остова трактора (измеряется датчиком положения) от заданных, гидравлической системы трактора, путем подъема или опускания нижних тяг заднего навесного устройства трактора, проводит коррекцию глубины вспашки, т. е. приподнимает (выглубляет) или опускает (заглубляет) передний конец несущей балки плуга.

Для исследования тяговой динамики пахотного агрегата актуальной задачей является кинематический и силовой анализ навесного устройства, определение угловых перемещений поворотного рычага, связанного с датчиком положения, определение сил, действующих на датчик усилия.

Работа электрогидравлической системы автоматического регулирования достаточно подробно исследована в работах [5–9], однако в

до $O_{\text{пл}}$ в режиме настройки плуга; l_{AB} – длина нижних тяг.

Угол наклона верхней тяги DC

$$\alpha_{2\text{н}} = \arctg \frac{r_{\text{д2}} + h_{\text{D}} - h_{\text{Oкpn}} - h_{\text{Cн}}}{x_{\text{A}} + l_{\text{AB}} \cos \alpha_{1\text{н}} - x_{\text{D}}},$$

где h_{D} – расстояние по вертикали от оси колеса до точки D крепления верхней тяги; $h_{\text{Cн}}$ – расстояние по вертикали от точки C до $O_{\text{пл}}$ в режиме настройки плуга; x_{A} – расстояние по горизонтали от оси колеса до точки A крепления нижних тяг; x_{D} – расстояние по горизонтали от оси колеса до точки D крепления верхней тяги.

Длина верхней тяги

$$l_{\text{DC}} = \frac{x_{\text{A}} + l_{\text{AB}} \cos \alpha_{1\text{н}} - x_{\text{D}}}{\cos \alpha_{2\text{н}}}.$$

Для определения углов наклона подъемного рычага SP и раскоса PQ рассмотрим шарнирно-четырёхзвенный механизм SPQA образованный подъемным рычагом, раскосами и нижними тягами (рисунок 2).

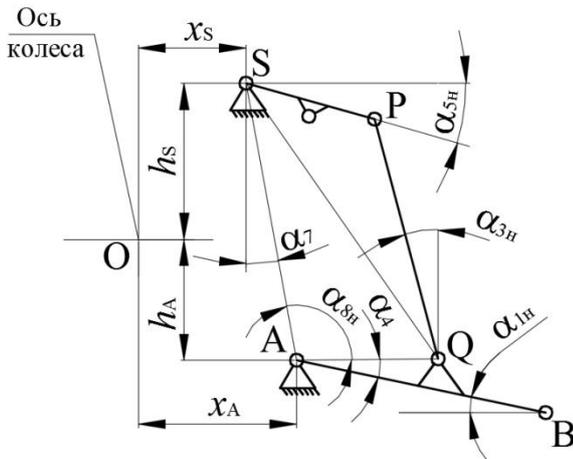


Рисунок 2 – Схема для определения углов наклона подъемного рычага и раскоса

Определим вспомогательный угол $\alpha_{8\text{н}}$

$$\alpha_{8\text{н}} = 90 + \alpha_7 + \alpha_{1\text{н}} - \alpha_4,$$

где α_4 – угол между нижними тягами AB и линией AQ соединяющей ось крепления нижних тяг A и ось крепления раскоса Q к нижней тяге (у некоторых марок тракторов он равен нулю); α_7 – угол отклонения от вертикали линии SA соединяющей оси крепления подъемного рычага S и нижних тяг A:

$$\alpha_7 = \arctg \frac{x_{\text{A}} - x_{\text{S}}}{h_{\text{A}} + h_{\text{S}}},$$

где x_{S} – расстояние по горизонтали от оси колеса до оси S крепления подъемного рычага; h_{S} – расстояние по вертикали от оси колеса до оси S крепления подъемного рычага.

Разобьем четырехзвенный механизм SPQA на два треугольнике ASQ и QSP и используя теорему косинусов определим длину их общей стороны SQ и далее – вспомогательный угол ASQ

$$\angle \text{ASQ} = \arcsin \frac{l_{\text{AQ}} \sin \alpha_{8\text{н}}}{\sqrt{l_{\text{SA}}^2 + l_{\text{AQ}}^2 - 2l_{\text{SA}}l_{\text{AQ}} \cos \alpha_{8\text{н}}}},$$

где l_{AQ} – расстояние между осью крепления нижних тяг A и осью крепления раскоса Q к нижней тяге (длина отрезка AQ); l_{SA} – расстояние между осью крепления подъемного рычага S и осью крепления нижних тяг A (длина отрезка SA), $l_{\text{SA}} = \sqrt{(x_{\text{A}} - x_{\text{S}})^2 + (h_{\text{A}} + h_{\text{S}})^2}$.

Зная все стороны треугольника QSP и используя теорему косинусов, определим вспомогательный угол QSP

$$\angle \text{QSP} = \arccos \frac{l_{\text{SP}}^2 - l_{\text{PQ}}^2 + l_{\text{SA}}^2 + l_{\text{AQ}}^2 - 2l_{\text{SA}}l_{\text{AQ}} \cos \alpha_{8\text{н}}}{2l_{\text{SP}} \sqrt{l_{\text{SA}}^2 + l_{\text{AQ}}^2 - 2l_{\text{SA}}l_{\text{AQ}} \cos \alpha_{8\text{н}}}},$$

где l_{SP} – длина подъемного рычага SP; l_{PQ} – длина раскоса PQ.

Угол отклонения от горизонтали подъемного рычага PS

$$\alpha_{5\text{н}} = 90 - \alpha_7 - \angle \text{ASQ} - \angle \text{QSP}.$$

Угол наклона раскоса PQ к вертикали

$$\alpha_{3\text{н}} = \arcsin \frac{x_{\text{A}} + l_{\text{AQ}} \cos(\alpha_{1\text{н}} - \alpha_4) - x_{\text{S}} - l_{\text{PS}} \cos \alpha_{5\text{н}}}{l_{\text{QP}}}.$$

Рассмотрим работу навесного устройства в режиме пахоты. Углы наклона тяг и раскосов, в процессе пахоты постоянно изменяются. При отклонении сопротивления плуга от заданного, система автоматического регулирования глубины пахоты гидроцилиндрами, через подъемные рычаги и раскосы, изменяет угол наклона нижних тяг (рисунок 3).

Угол наклона нижних тяг в рабочем режиме выразим зависимостью

$$\alpha_1 = \alpha_{1н} + \Delta\alpha_1,$$

где $\Delta\alpha_1$ – изменение угла наклона нижних тяг системой автоматического регулирования глубины пахоты.

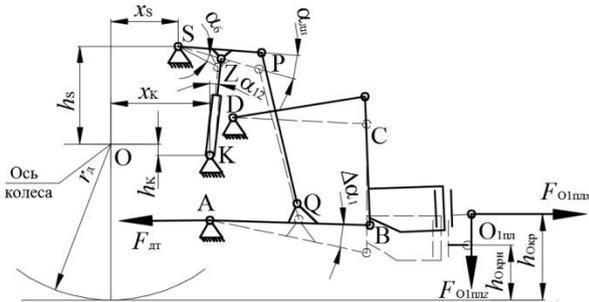


Рисунок 3 – Схема навесного устройства трактора, агрегируемого с полунавесным плугом в режиме пахоты

Для определения углов наклона верхней тяги DC и плоскости присоединительного треугольника CB рассмотрим шарнирно-четырёхзвенный механизм ADCB образованный верхней тягой, плоскость присоединительного треугольника и нижними тягами (рисунок 4).

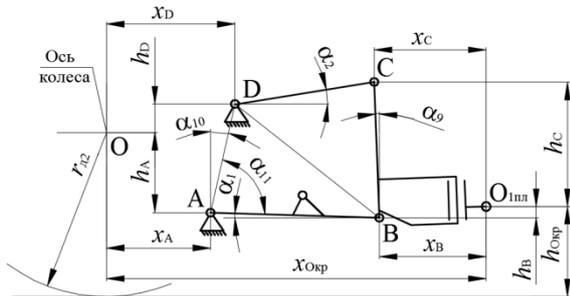


Рисунок 4 – Схема для определения углов наклона верхней тяги и плоскости присоединительного треугольника в режиме пахоты

Определим вспомогательный угол α_{11}

$$\alpha_{11} = 90 + \alpha_1 - \alpha_{10},$$

где α_{10} – угол отклонения от вертикали линии DA, соединяющей оси крепления верхней тяги D и нижних тяг A

$$\alpha_{10} = \arctg \frac{x_D - x_A}{h_D + h_A}.$$

Разобьем четырехзвенный механизм ADCB на два треугольнике ADB и BDC и используя теорему косинусов определим длину их общей стороны DB и далее – вспомогательный угол ADB:

$$\angle ADB = \arcsin \frac{l_{AB} \sin \alpha_{11}}{\sqrt{l_{AD}^2 + l_{AB}^2 - 2l_{AD}l_{AB} \cos \alpha_{11}}},$$

где l_{AD} – расстояние между осью крепления нижних тяг A и осью крепления верхней тяги D (длина отрезка AD)

$$l_{AD} = \sqrt{(x_D - x_A)^2 + (h_D + h_A)^2}.$$

Зная стороны треугольника ADB и используя теорему косинусов, определим вспомогательный угол BDA

$$\angle BDA = \arccos \frac{l_{DC}^2 - l_{CB}^2 + l_{DA}^2 + l_{AB}^2 - 2l_{DA}l_{AB} \cos \alpha_{11}}{2l_{DC} \sqrt{l_{DA}^2 + l_{AB}^2 - 2l_{DA}l_{AB} \cos \alpha_{11}}},$$

где l_{CB} – расстояние между нижними и верхними шарнирами стойки навески плуга, $l_{CB} = h_{Bн} + h_{Cн}$ (рисунок 1).

Угол отклонения от горизонтали верхней тяги DC

$$\alpha_2 = \angle ADB + \angle BDC - 90 - \alpha_{10}.$$

Угол наклона плоскости присоединительного треугольника CB к вертикали

$$\alpha_9 = \arcsin \frac{x_A + l_{AB} \cos \alpha_1 - x_D - l_{DC} \cos \alpha_2}{l_{CB}}.$$

Определим расстояние по горизонтали и вертикали от шарнира $O_{пл1}$, соединяющего навеску плуга с его рамой, до шарниров B и C

$$x_{O_{кр}} = x_A + l_{AB} \cos \alpha_1 + (x_{BO_B} + x_{O_B O_{пл1}}) \cos \alpha_9 - h_B \sin \alpha_9.$$

Далее определим изменение расположения горизонтального шарнира $O_{пл1}$, соединяющего навеску плуга с его рамой, над поверхностью поля

$$\Delta h_{O_{кр}} = h_{O_{кр}} - h_{O_{крн}}.$$

Что позволяет определить угол наклона β передней балки плуга

$$\beta = \arcsin \frac{\Delta h_{O_{кр}}}{x_{O_2}},$$

где x_{O_2} – проекция на ось x расстояние между осями шарниров $O_{1пл}$ и $O_{2пл}$ [14, рисунок 2].

Для определения углов наклона подъемного рычага SP и раскоса PQ в режиме пахоты рассмотрим шарнирно-четырёхзвенного механизма $SPQA$ (рисунок 2), только на схеме и в аналитических выражениях вместо углов полученных при настройке пахотного агрегата $\alpha_{1н}, \alpha_{3н}, \alpha_{5н}, \alpha_{8н}$ будем использовать углы полученные в режиме пахоты. Вспомогательный угол α_8

$$\alpha_8 = 90 + \alpha_7 + \alpha_1 - \alpha_4,$$

Угол отклонения от горизонтали подъемного рычага PS

$$\alpha_5 = 90 - \alpha_7 - \arcsin \frac{l_{AQ} \sin \alpha_8}{\sqrt{l_{SA}^2 + l_{AQ}^2 - 2l_{SA}l_{AQ} \cos \alpha_8}} - \arccos \frac{l_{SP}^2 - l_{PQ}^2 + l_{SA}^2 + l_{AQ}^2 - 2l_{SA}l_{AQ} \cos \alpha_8}{2l_{SP} \sqrt{l_{SA}^2 + l_{AQ}^2 - 2l_{SA}l_{AQ} \cos \alpha_8}}.$$

Угол наклона раскоса PQ к вертикали

$$\alpha_3 = \arcsin \frac{x_A + l_{AQ} \cos(\alpha_{1н} - \alpha_4) - x_S - l_{PS} \cos \alpha_5}{l_{QP}}.$$

В результате получим угол поворота подъемного рычага $\alpha_{нд}$ (рисунок 3), который изменяется позиционным датчиком, преобразуется в электрический сигнал и используется для управления глубиной обработки почвы при позиционном и смешанном позиционно-силовом способах регулирования глубины обработки почвы

$$\alpha_{нд} = \alpha_5 - \alpha_{5н}.$$

Рассматривая треугольник KSZ (рисунки 1 и 3) определим значение угла KSZ

$$\angle KSZ = 90 - \arctg \frac{x_K - x_S}{h_K + h_S} - \alpha_5 - \alpha_6,$$

где h_K – расстояние по вертикали от оси колеса до точки K крепления проушины гидроцилиндра; x_K – расстояние по горизонтали от оси колеса до точки K крепления проушины гидроцилиндра; α_6 – угол между подъемным рычагом SP и линией SZ соединяющей ось крепления подъемных рычагов S и ось крепления проушины штока гидроцилиндра Z к подъемному рычагу.

Используя теорему косинусов, определим длину гидроцилиндра l_{KZ} между проушинами K и Z

$$l_{KZ} = \sqrt{l_{SK}^2 + l_{SZ}^2 - 2l_{SK}l_{SZ} \cos \angle KSZ},$$

где l_{SK} – расстояние между осью крепления подъемного рычага S и осью крепления проушины гидроцилиндра K (длина отрезка SK), $l_{SK} = \sqrt{(x_K - x_S)^2 + (h_K + h_S)^2}$; l_{SZ} – расстояние между осью крепления подъемных рычагов S и осью крепления проушины штока гидроцилиндра Z (длина отрезка SZ).

Используя теорему об углах, образованных двумя параллельными прямыми и секущей, определим угол наклона гидроцилиндра α_{12} к вертикали

$$\alpha_{12} = \arccos \frac{l_{SK}^2 + l_{SZ}^2 - l_{KZ}^2}{2l_{SK}l_{SZ}} - \arctg \frac{x_K - x_S}{h_K + h_S}.$$

Математическая модель для силового анализа навесного устройства

Рассмотрим расчетную схему навесного устройства трактора, соединенную с навеской полунавесного оборотного плуга (рисунок 3). На шарнир $O_{пл1}$, соединяющий навеску плуга с его рамой, действуют горизонтальная $F_{O_{плк}}$ и вертикальная $F_{O_{пллз}}$ составляющие силы сопротивления плуга, которые определим в соответствии с работой [14]. Данные силы через навеску плуга и, далее, через нижние тяги AB , верхнюю тягу DC , раскосы PQ и рычаги SP навески трактора передаются на остов трактора. Причем

Определим давление жидкости в гидроцилиндре $p_{гц}$, пренебрегая трением в нем ввиду его малости:

$$p_{гц} = \frac{F_{KZ1}}{A_{гп}},$$

где $A_{гп}$ – площадь поршня гидроцилиндра.

Просуммируем проекции всех сил, действующих на подъемный рычаг, на оси координат, совмещенные с силами F_{SP} и N_S . Определим силы действующую на шарнир S вдоль подъемного рычага F_{SP1} и перпендикулярную ему N_{S1}

$$F_{SP1} = F_{KZ1} \sin(\alpha_{12} - \alpha_5) + F_{PQ1} \sin(\alpha_5 + \alpha_3);$$

$$N_{S1} = F_{PQ1} \cos(\alpha_5 + \alpha_3) - F_{KZ1} \cos(\alpha_{12} - \alpha_5).$$

Приведенные выше уравнения представляют собой математическую модель навесного устройства трактора, агрегируемого с полунавесным оборотным плугом, и позволяют определить угловые перемещения, воспринимаемые датчиком положения и силы, воздействующие на датчики усилий, а также провести его кинематический и силовой анализ.

Заключение

Разработана математическая модель навесного устройства трактора, агрегируемого с полунавесным оборотным плугом, на основании анализа угловых перемещений и координат расположения осей шарниров ее тяг, раскосов, рычагов в режиме настройки глубины пахоты и режиме пахоты, а также величины и направления сил, действующих на них, учитывающая тяговое сопротивление плуга и работу системы автоматического регулирования глубины пахоты, позволяющая определять угловые перемещения, воспринимаемые датчиком положения и силы, воздействующие на датчики усилий, усилие создаваемое гидроцилиндром и давление жидкости в гидроцилиндре, а также провести кинематический и силовой анализ навесного устройства трактора.

Литература

1. Состояние и тенденции парка сельскохозяйственных тракторов Республики Беларусь / Д. А. Дубовик, Н. П. Амельченко, А. Г. Стасилевич [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2021. – Т. 10. – С. 23–27.

2. Лепешкин, Н. Для гладкой вспашки различных почв [Электронный ресурс] / РУП

«НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» – Режим доступа: <https://belagromech.by/news/dlya-gladkoj-vspashki-razlichnyh-pochv/> – Дата доступа: 14.09.2022.

3. Плуги ППО-7-40К, ППО-8-40К. Руководство по эксплуатации. – 46 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mrz.by/media/file/binary/2019/7/28/180192180755/re-ppo-7-40k-ppo-8-40k-konvertirovan_pdf.pdf?srv=cms. – Дата доступа: 14.09.2022.

4. Плуг полунавесной оборотный ППОВ-8-45-01 Руководство по эксплуатации. – 43 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blrkomplekt.by/upload/uf/49a/49a773e9c89f571f65b2750ddaf203cc.pdf>. – Дата доступа: 14.09.2022.

5. Снижение буксования пахотного агрегата при силовом регулировании / Е. Я. Строк [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2016. – Т. 5. – С. 135–138.

6. Строк, Е. Я. Разработка обобщенной динамической модели тракторного агрегата с электрогидравлическим приводом навесного устройства / Е. Я. Строк, Л. Д. Бельчик, П. А. Зорич // Актуальные вопросы машиноведения. – 2017. – Т. 6. – С. 177–180. – EDN TATXZD.

7. Снижение непроизводительных затрат мощности при управлении рабочими органами пахотного агрегата / Е. Я. Строк [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2019. – Т. 8. – С. 95–99.

8. Лурье, З. Я. Моделирование рабочего процесса мехатронного гидроагрегата навесного оборудования трактора с обратной связью по усилию / З. Я. Лурье, Е. Н. Цента, А. И. Панченко // Промислова гидравліка і пневматика. – 2016. – № 2. – С. 53–69.

9. Основные направления совершенствования объемных гидроприводов навесного оборудования сельскохозяйственных тракторов / В. Б. Самородов [и др.] // Вісник Національного технічного університету «ХП». Сер. : Автобіле- та тракторобудування: зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХП», 2018. – № 49 (1325). – С. 21–31.

10. Попов, В. Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей / В. Б. Попов // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого: научно-практический журнал. – 2000. – № 2. – С. 25–29.

11. Попов, В. Б. Математическое моделирование подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов. – Гомель. ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 251с.

12. Попов, В. Б. Определения нагруженности верхней и нижней тяг механизма навески

трактора со стороны агрегируемого навесного плуга / В. Б. Попов // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сборник научных трудов: в 2 т. / Белорусский национальный технический университет, Автотракторный факультет; редкол.: Д. В. Капский (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 231–235.

13. Захаров, А. В. Определение усилий, действующих на тяги и рычаги навесного устройства, по результатам динамометрирования / А. В. Захаров, И. О. Захарова, А. В. Ващула // Научно-технический прогресс в сельском хозяйственном производстве : материалы Международной научно-технической конференции: в 3-х т., Минск, 10–11 октября 2012 года / Редакция: П. П. Казакевич (гл. ред.), О. О. Дударев. – Т. 1. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр

Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – С. 232–235.

14. Жданович, Ч. И. Математическое моделирование тягового сопротивления полунавесного оборотного плуга / Ч. И. Жданович // Актуальные вопросы машиноведения. – 2019. – Т. 8. – С. 108–111.

15. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6–8. Типы, основные параметры и размеры: ГОСТ 10677-2001. – Минск, 2002. – 11 с.

16. Система управления навесными устройствами мобильных машин / ОАО «Измеритель» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://izmeritel.by/products/avtotraktornaya-elektronika/sistema-upravleniya-navesnyimi-ustrojstvami-mobilnyix-mashin>. – Дата доступа: 21.09.2022.

UDC 621.86.07:51-7

ZHDANOVICH Cheslav I., PhD in Engineering, Associate Professor,
Associate Professor
E-mail: chzhdanovich@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 October 2022

MATHEMATICAL MODEL OF A TRACTOR ATTACHMENT AS PART OF AN ARABLE UNIT

In the system of traditional agriculture, plowing of soils is widely used. To improve the quality of plowing and productivity of arable units, powerful tractors and revolving semi-mounted plows are used. The tractor is connected to the plow by means of a mounted device with an electrohydraulic system for automatic regulation of the depth of tillage. To select the type and parameters of the automatic control system for the depth of tillage, to coordinate the operating modes of the tractor and the plow, it is advisable at the design stage to be able to carry out kinematic and force analysis of the attachment device, to determine the angular movements of the position sensor and the forces acting on the force sensors. For this purpose, a mathematical model of a tractor attachment, aggregated with a semi-mounted revolving plow, has been developed. When developing the model, the analysis of angular displacements of rods, braces, levers of the attachment device in the mode of setting the depth of plowing and plowing mode, as well as the magnitude and direction of forces acting on them, was carried out. The traction resistance of the plow and the operation of the automatic control system for the depth of tillage are also taken into account. The mathematical model makes it possible to determine the angular displacements perceived by the position sensor and the forces acting on the force sensors, the force generated by the hydraulic cylinder and the fluid pressure in the hydraulic cylinder, as well as to conduct kinematic and force analysis of the tractor attachment.

Keywords: *mathematical model, arable unit, tractor attachment, automatic control system, force sensor, position sensor.*

References

1. Dubovik D. A. [et al.] (2021) *The state and trends of the agricultural tractor fleet of the Republic of Belarus*. Actual issues of machine science, 10, 23–27. (in Russian).
2. Lepeshkin N. *For smooth plowing of various soils*. Available at: <https://belagromech.by/news/dlya-gladkoj-vspashki-razlichnyh-pochv/> (Accessed 14 September 2022). (in Russian).
3. Plows PPO-7-40K, PPO-8-40K. *Operation manual*. Available at: http://mrz.by/media/file/binary/2019/7/28/180192180755/re-ppo-7-40k-ppo-8-40k-konvertirovan_pdf.pdf?srv=cms (Accessed 14 September 2022). (in Russian).
4. Semi-mounted revolving plow-8-45-01 *Operation manual*. Available at: <http://blrkomplekt.by/upload/uf/49a/49a773e9c89f571f65b2750ddaf203cc.pdf> (Accessed 14 September 2022). (in Russian).
5. Strok E. Ya., Belchik L. D., Alexandrova T. L., Ananchikov A. A. (2016) *Reduction of slipping of the arable unit with power regulation*. Actual issues of machine science, 5, 135–138. – EDN YRHOFR (in Russian).
6. Strok E. Ya., Belchik L. D., Zorich P. A. (2017) Development of a generalized dynamic model of a tractor unit with an electrohydraulic drive of a mounted device. *Actual issues of machine science*, 6, 177–180. (in Russian).
7. Strok E. Ya., Belchik L. D., Ananchikov A. A., Zorich P. A. (2019) *Reduction of unproductive power costs when managing the working bodies of an arable unit*. Actual issues of machine science, 8, 95–99. – EDN HPZHLL. (in Russian).
8. Lurie Z. Ya., Centa E. N., Panchenko A. I. (2016) *Modeling of the workflow of a mechatronic hydraulic unit of tractor attachments with force feedback*. Promislovagidravlika i pneumatics, 2, 53–69 (in Russian).
9. Samorodov V. B., Avrunin G. A., Moroz I. I., Pelipenko E. S. (2018) *The main directions of improving volumetric hydraulic drives of attachments of agricultural tractors*. Visnik natsionnogo technichnog universitetu «KhPI». Ser. : Avtomobileta traktorobuduvannya: zb. nauk. Ave, 49 (1325), 21–31. (in Russian).
10. Popov V. B. (2000) *Analytical expressions of kinematic transfer functions of mechanisms of suspension of energy carriers*. Bulletin of the Sukhoi State Technical University: scientific and Practical Journal, 2, 25–29. (in Russian).
11. Popov V. B. (2016) *Mathematical modeling of lifting and hinged devices of mobile power facilities*. Gomel. GSTU P. O. Sukhoi. P. 251. (in Russian).
12. Popov V. B. (2020) *Determination of the loading of the upper and lower rods of the tractor suspension mechanism from the side of the aggregated mounted plow*. Automotive and automotive transport: collection of scientific papers: in 2 volumes/ Belarusian National Technical University, Faculty of Automotive Engineering; Editorial Board: D. V. Kapsky (ed.) [and others]. Minsk: BNTU. Publ. Vol. 1. P. 231–235. (in Russian).
13. Zakharov A. V., Zakharova I. O., Vashchula A. V. (2012) *Determination of the forces acting on the rods and levers of the attachment device, according to the results of dynamometry*. Scientific and technical progress in agricultural production : Materials of the International Scientific and Technical Conference. In 3 vol., Editorial Board: P.P. Kazakevich (Chief Editor), O. O. Dudarev. Vol. 1. – Minsk: Republican Unitary Enterprise «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on agricultural mechanization». P. 232–235. (in Russian).
14. Zhdanovich Ch. I. (2019) *Mathematical modeling of traction resistance of a semi-mounted revolving plow*. Actual issues of machine science, 8, 108–111. (in Russian).
15. *State Standard 10677-2001. Mounted rear device of agricultural tractors of classes 0,6 - 8. Types, basic parameters and dimensions*. Minsk. 11. (in Russian).
16. *Control system for attachments of mobile machines*. Available at: <https://izmeritel.by/products/avtotraktornaya-elektronika/sistema-upravleniya-navesnyimi-ustrojstvami-mobilnyix-mashin/>. – Access date: 21.09.2022. (in Russian).

СЕВРУК В. С.,
инж.-констр. 1 кат.¹
E-mail: viktrsevruk@rambler.ru

РУКТЕШЕЛЬ О. С., д-р техн. наук, проф.
профессор кафедры «Автомобили»²
E-mail: rukteshel@bntu.by

¹ОАО «Минский завод колесных тягачей», г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.05.2022

АНАЛИЗ СХЕМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЗАМИ-ЗАМЕДЛИТЕЛЯМИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

В настоящее время гидравлические тормозы-замедлители производятся многими компаниями. Сфера применения подобных узлов весьма широка: это и легковые автомобили, и автобусы, и различная специальная большегрузная техника. При движении по ровной дороге тормоз-замедлитель позволяет сохранять ресурс рабочей тормозной системы и реже производить ее ремонт и замену, что наиболее актуально для легковых автомобилей. При движении на затяжных спусках тормоз-замедлитель позволяет долго сохранять требуемую скорость и не перегревать тормозные механизмы, что важно для автобусов и специальной техники. Изучая схемы различных моделей тормозов-замедлителей и их систем управления, можно получить много полезной информации об алгоритмах их работы, особенностях управления, методах контроля тормозного момента. Данная информация может быть полезна как в образовательных целях, так и в целях разработки собственной системы управления тормозом-замедлителем. В данной работе приводятся результаты исследования схем систем управления тормозов-замедлителей основных производителей. Описываются принципы их работы и особенности применения, отмечаются достоинства и недостатки. На основе собранной информации делается вывод об основных принципах регулирования тормозного момента, создаваемого тормозом-замедлителем.

Ключевые слова: трансмиссия, гидромеханическая передача, ретардер, гидравлический тормоз-замедлитель, система автоматического управления, функциональная схема.

Введение

Создание систем управления (СУ) узлами автоматической трансмиссии является сложной и ответственной задачей, поскольку от правильности их функционирования зависит качество работы соответствующего узла. В частности, при работе гидравлического тормоза-замедлителя (ГТЗ) его система управления должна способствовать созданию тормозного момента нужной величины в соответствии с выбранным водителем режимом торможения. При этом создаваемый тормозной момент не должен зависеть от каких-либо посторонних факторов, например, температуры рабочей жидкости, а набор защитных функций должен

предохранять ретардер от выхода из строя в случае нештатной ситуации. Ретардеры устанавливаются в трансмиссиях автомобилей уже достаточно долгое время, но несмотря на это, в настоящий момент все еще имеется множество вопросов в части разработки и практической реализации систем для их управления. Данные вопросы, в частности, состоят в следующем.

Общее устройство ГТЗ и общие параметры лопастных систем хорошо известны и описаны во множестве источников, например, [1, 2, 3, 4]. К примеру, тормоз-замедлитель состоит из двух колес, одно из которых вращается вместе с выходным валом коробки передач (ротор), а другое соединено с картером (статор). Каждое

из колес содержит набор лопаток, имеющих характерную форму. Эти и другие основные параметры являются безусловно полезными и важными при разработке ГТЗ. Однако, разрабатывая схему, а затем и чертежи какой-то новой конкретной модели ретардера, необходимо рассчитать и заложить в конструкторскую документацию набор конкретных узлов и деталей, каждый из которых должен иметь свои конкретные параметры и их значения: длины, диаметры, давления и т.д. Что касается системы управления ГТЗ, то она должна иметь четкую структуру, а у разработчика данной системы должно быть полное понимание того, чем именно нужно управлять, посредством чего это управление можно сделать, как именно узел будет реагировать на то или иное воздействие, какую обратную связь реализовать и, что также немаловажно, насколько возможно это все изготовить на предприятии. К сожалению, всем вышеуказанным вопросам в литературе уделяется крайне мало внимания. Системы управления ГТЗ зачастую упоминаются лишь вскользь: указывается только тот факт, что при включении ГТЗ энергия вращения выходного вала коробки передач преобразуется в тепловую энергию (происходит нагрев рабочей жидкости – масла), однако ничего не говорится ни о регулировании тормозного момента, ни о параметрах, влияющих на его конкретную величину. При этом данная информация критически важна при разработке ГТЗ, поскольку ретардер должен работать не просто в режиме «включено/выключено», а обеспечивать различную интенсивность торможения в зависимости от текущих дорожных условий и желания водителя.

Возможные варианты решения вышеуказанных вопросов можно рассмотреть на примере уже разработанных и серийно выпускаемых моделей ГТЗ различных производителей. В частности, множество моделей ретардеров выпускают такие известные производители, как Allison и Voith [5, 6]. В сопроводительную документацию на ретардеры определенных моделей зачастую включаются схемы их систем управления. Однако данные схемы, как правило, содержат достаточно ограниченный набор пояснений, не позволяющих в полной мере понять принцип их функционирования, либо вовсе не содержат никаких пояснений. Таким образом, желающим понять устройство данных схем необходимо самостоятельно их изучать и выяснять, как именно они функционируют. Исходя из вышесказанного, цель данной работы состоит в анализе основных схем

систем управления выпускаемыми ГТЗ, определении параметров их работы и способов регулирования тормозного момента.

Описание работы СУ ГТЗ Allison MD/B 300/B 400

Анализ схем систем управления начнем с одной из СУ ГТЗ фирмы Allison [7]. Данный ретардер используется вместе с гидромеханической передачей (ГМП) 3000-й серии. ГМП данной серии применяются для автомобилей с прицепными фургонами, пожарных машин и автомобилей технической помощи, грузовиков универсального назначения, школьных автобусов, развозных грузовиков, специализированных автомобилей и тягачей [8]. Поскольку для многих автомобилей из вышеуказанных категорий наличие ретардера позволяет значительно снизить нагрузку на рабочую тормозную систему и соответственно увеличить ресурс автомобиля, а рабочей жидкостью гидравлических ретардеров является, как правило, трансмиссионное масло, аналогичное маслу в ГМП, то объединение ГТЗ и ГМП в одном узле является удобным решением для трансмиссий данных транспортных средств. К преимуществам такого решения можно отнести то, что масло для ГТЗ и ГМП располагается в одном общем поддоне (что позволяет несколько уменьшить и упростить конструкцию узла), а также то, что масло под давлением, создаваемым механизмом регулирования давления ГМП, может использоваться системой управления ГТЗ для своих нужд. Недостатком же такого решения является невозможность использования ГТЗ отдельно от данной конкретной ГМП.

На рисунке 1 показана схема данной системы управления в выключенном состоянии. Проанализировав вышеуказанный рисунок, можно сделать вывод, что данная СУ ГТЗ включает в себя следующие основные элементы:

- два гидравлических клапана: Клапан Управления ГТЗ (Retarder Control Valve) и Клапан Поточков ГТЗ (Flow Valve);
- один пропорциональный электрогидравлический клапан (H);
- один дискретный электропневматический клапан (ON/OFF Solenoid);
- один гидропневмоаккумулятор (Accumulator). Проанализировав структуру всех элементов на рисунке 1 и взаимосвязи между ними, можно сделать следующие заключения о порядке работы элементов данной системы управления и принципах работы системы в целом в ее исходном состоянии (при выключенном ГТЗ).

1. К Клапану Управления ГТЗ подводится масло из магистрали главного давления ГМП, однако далее это масло никуда не поступает, поскольку электрогидравлический клапан находится в выключенном состоянии. На рисунке 1 данная магистраль обозначена как «MAIN PRESSURE».

2. Масло от выхода гидродинамического трансформатора (ГДТ) поступает к золотнику Клапана Поток ГТЗ. На рисунке 1 данная магистраль обозначена как «CONVERTER OUT».

3. Проходя через золотник, далее масло попадает на теплообменник (Cooler). Перед тем, как войти в теплообменник, поток масла разделяется: часть масла направляется в гидропневмоаккумулятор и заполняет его. Заполнение гидропневмоаккумулятора объясняется тем, что на его поршень с правой и левой стороны действуют силы разной величины: с правой стороны действует усилие от масла, поступившего под некоторым давлением с выхода ГДТ,

а с левой стороны не действует ничего, т. к. электропневматический клапан находится в выключенном состоянии. Соответственно, поршень перемещается в крайнее левое положение и происходит заполнение аккумулятора. На рисунке 1 данная магистраль обозначена как «TO COOLER».

4. После выхода из теплообменника охладившееся масло возвращается обратно к Клапану Поток ГТЗ и затем уходит на смазку ГМП. На рисунке 1 данные магистрали обозначены соответственно, как «FROM COOLER» и «LUBE».

5. Выход ГТЗ соединен со сливом посредством Клапана Поток ГТЗ. При этом на вход ГТЗ через дроссельное отверстие подается небольшое количество масла из потока, идущего на смазку ГМП. На рисунке 1 данные магистрали обозначены как «ORIFICE LUBE» и «EXHAUST».

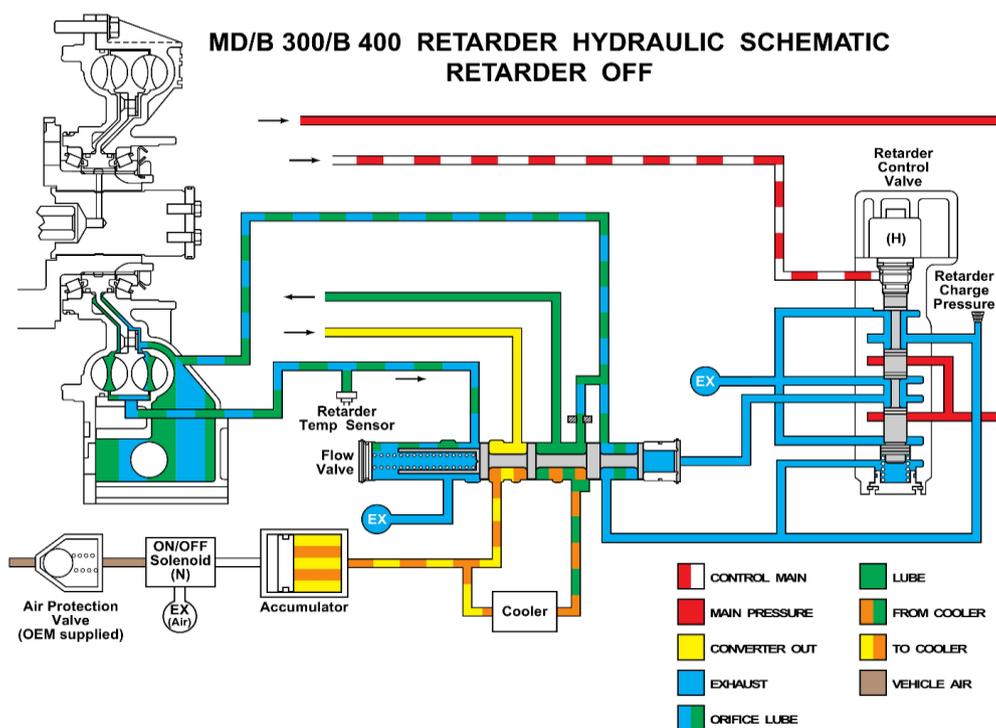


Рисунок 1 – Схема СУ ГТЗ Allison в выключенном состоянии [7]

Резюмируя вышесказанное, можно отметить, что при данном состоянии системы управления ретардер выключен (не создает тормозной момент), его гидропневмоаккумулятор полностью заполнен маслом, а масло с выхода ГДТ через теплообменник поступает на смазку ГМП. Теперь рассмотрим работу системы управления во включенном состоянии, показанном на рисунке 2.

Как видно из рисунка, некоторые элементы системы управления изменили свое состояние.

Проанализируем, как изменилась при этом работа системы управления.

1. На электрогидравлический клапан подается напряжение, в результате чего он переходит во включенное состояние. На рисунке 2 данная магистраль обозначена как «CONTROL MAIN». В результате этого создается давление на верхнем торце золотника Клапана Управления ГТЗ. Под действием возникающей силы золотник смещается вниз, преодолевая усилие пружины. При этом масло из главной масляной

магистрали («MAIN PRESSURE») через Клапан Управления ГТЗ поступает к торцу золотника Клапана Потокв ГТЗ и перемещает его в рабочее («включенное») положение.

2. Поскольку Клапан Потокв ГТЗ находится в рабочем («включенном») положении, то масло с выхода ГДТ («CONVERTER OUT») поступает на смазку ГМП («LUBE»), минуя теплообменник, а выход ГТЗ, теплообменник и вход ГТЗ последовательно соединяются между собой, образуя замкнутый контур.

3. Электропневматический клапан также находится во «включенном» состоянии (то есть на него подается напряжение), в результате чего давление воздуха перемещает поршень

аккумулятора в крайнее правое положение, тем самым выдавливая масло из полости аккумулятора. Данное масло поступает в замкнутый контур ГТЗ и частично его заполняет. На рисунке 2 магистраль подвода сжатого воздуха обозначена как «VEHICLE AIR».

4. Из замкнутого контура ГТЗ масло под давлением, равным давлению на входе в ГТЗ, поступает в подпружинную полость золотника Клапана Управления ГТЗ. При этом создается сила, направленная противоположно усилию от электрогидравлического клапана, что препятствует дальнейшему перемещению вниз золотника Клапана Управления ГТЗ и он остается в среднем положении.

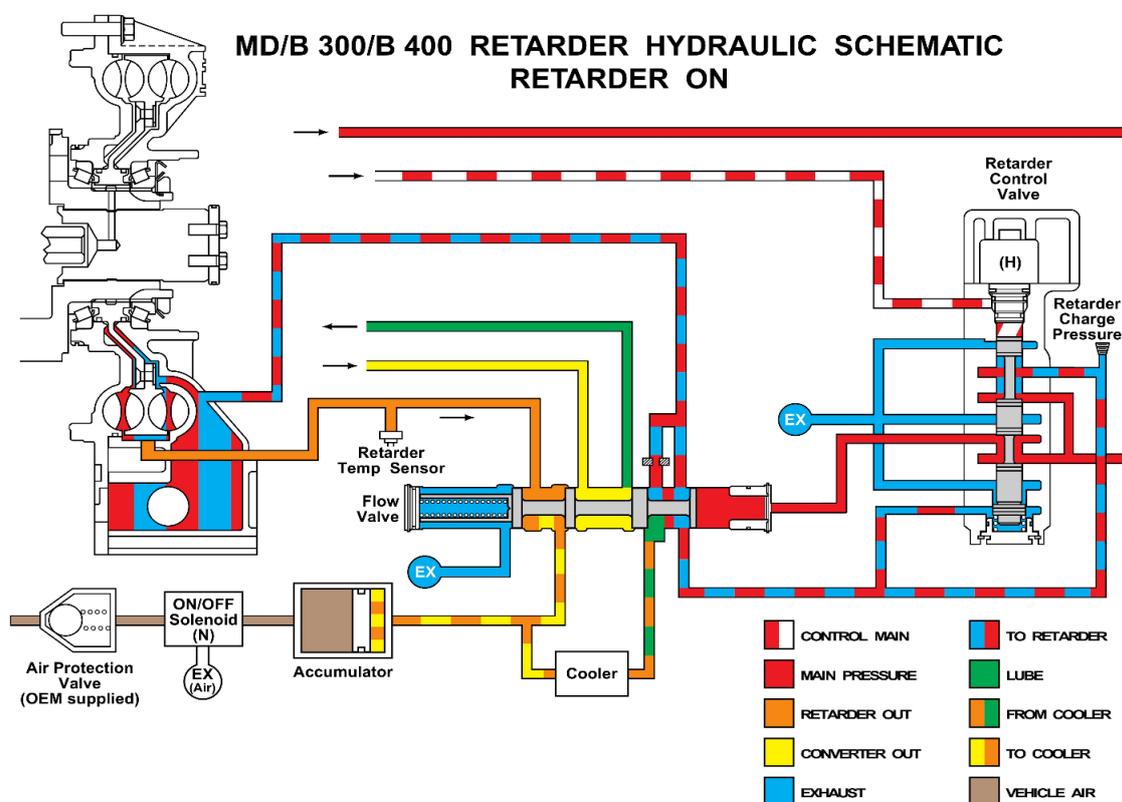


Рисунок 2 – Схема СУ ГТЗ Allison во включенном состоянии [7]

Резюмируя вышесказанное, можно отметить, что при данном состоянии системы управления ретардер включен (создает тормозной момент), масло из его гидропневмоаккумулятора заполнило контур ГТЗ, а масло с выхода ГДТ, минуя теплообменник, поступает на смазку ГМП.

Теперь обратим внимание на еще одну магистраль, которая не была упомянута в предыдущих пунктах. Данная магистраль соединяет магистраль главного давления («MAIN PRESSURE») через золотник Клапана Управления ГТЗ с замкнутым контуром ГТЗ. Рассмотрим подробнее, для чего нужна данная магистраль.

Логично предположить, что, когда вышеупомянутый контур ГТЗ полностью замкнут, тормозной момент ретардера постоянен и равен некой величине. Также логично предположить, что поскольку устройством, воздействующим на Клапан Управления ГТЗ, является пропорциональный электрогидравлический клапан, то при необходимости повысить тормозной момент ГТЗ нужно изменить (повысить) величину силы тока в данном клапане. При увеличении силы тока в клапане произойдет соответствующее увеличение давления, воздействующего на торец золотника Клапана Управления ГТЗ. Поскольку новая величина давления больше исходной, то золотник Клапана Управления ГТЗ

переместится вниз (см. рисунок 2). В результате этого масло из магистрали главного давления поступит через Клапан Управления ГТЗ на вход ГТЗ и начнет дополнительно заполнять ретардер до тех пор, пока давление в подпружинной полости Клапана Управления ГТЗ (равное давлению на входе в ретардер) вновь не уравнивается давлением от электрогидравлического клапана. При этом золотник вернется в среднее, «равновесное», положение и подача масла в ГТЗ прекратится, после чего, соответственно, прекратятся также повышение давления на входе в ретардер и повышение его тормозного момента.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы относительно принципов работы рассматриваемой СУ ГТЗ фирмы Allison. Во-первых, изменение величины тормозного момента, создаваемого ретардером, происходит за счет изменения величины давления масла на входе в ГТЗ. Величина этого давления, в свою очередь, достигается за счет стремления золотника Клапана Управления ГТЗ принять среднее («равновесное») положение, при котором усилие от электрогидравлического клапана компенсируется суммарным усилием от давления на входе в ГТЗ и от пружины.

Во-вторых, поскольку ни электропневматический клапан, ни аккумулятор в процессе регулирования тормозного момента не участвуют, следовательно, их основная цель — это быстрое заполнение полости ретардера на начальном этапе торможения, т. е. увеличение скорости срабатывания СУ. Таким образом, проанализированная СУ ГТЗ позволяет создавать требуемый тормозной момент и регулировать его в широком диапазоне.

Описание работы СУ ГТЗ фирмы Voith

Далее рассмотрим СУ ГТЗ другого типа и от другого производителя [9]. Ретардеры фирмы Voith являются отдельно стоящими, то есть никак не связанными с коробкой передач. Из этого следует их достоинство: данные ГТЗ можно устанавливать совместно с любыми коробками передач от любых производителей. Однако отсюда же следует и их основной недостаток: полная автономность системы управления означает, что ни масляный бак, ни какие-либо элементы СУ ГМП невозможно использовать для нужд СУ ГТЗ. Поэтому рассмотрим, как в данном случае происходит регулирование тормозного момента.

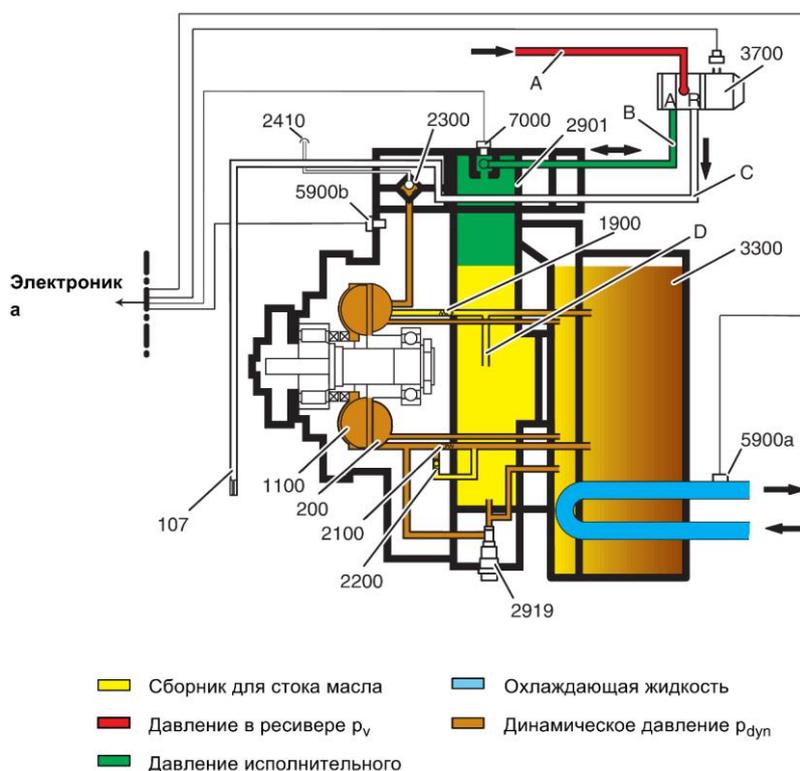


Рисунок 3 – Схема СУ ГТЗ Voith [9]

Как видно из рисунка 3, данная СУ ГТЗ включает в себя следующие основные элементы:

– пропорциональный электропневматический клапан 3700;

– масляный бак 2901;
– магистраль подачи сжатого воздуха А;
– магистраль сброса воздуха в атмосферу С;
– магистраль подвода сжатого воздуха В.

Процесс изменения величины тормозного момента довольно прост: сжатый воздух из магистрали А через клапан 3700 подается в магистраль В и далее в бак 2901. Поступивший воздух выдавливает некоторое количество масла из бака в полость ГТЗ, причем чем больше давление воздуха (которое регулируется величиной силы тока на клапане), тем больший объем масла будет выдавлен из бака. Следовательно, величина тормозного момента зависит от степени наполненности внутренней полости ГТЗ.

Описание работы клапана-регулятора числа оборотов

В источнике [10] описано устройство ГТЗ, в которых в качестве рабочей жидкости используется вода. При этом дается описание клапана, используемого для автоматического регулирования оборотов ГТЗ. Схема данного клапана приведена на рисунке 4.

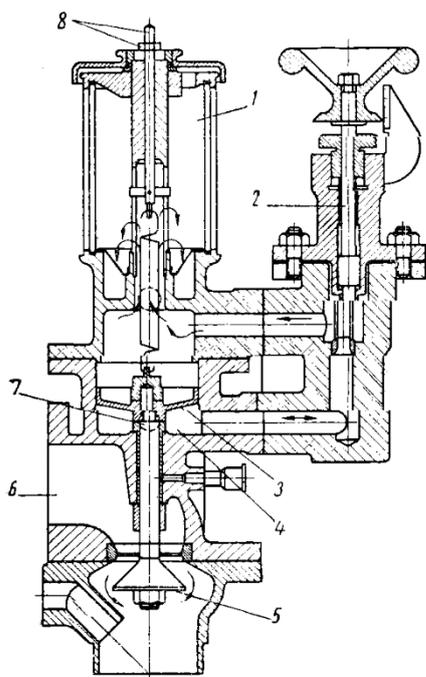


Рисунок 4 – Клапан-регулятор числа оборотов [10]

Основной элемент данного клапана – это шток 7, в верхней части которого находится поршень 3, а в нижней – клапан 5. Снизу на поршень 3 (то есть в полости 4) действует усилие от масла, которое подает насос, соединенный с ротором ГТЗ. Сверху на поршень 3 действует усилие, величина которого зависит от поворота рукоятки управления 2.

Клапан 5 регулирует выпуск воды из ГТЗ: от положения данного клапана зависит площадь выходного сечения, а, следовательно, и степень наполненности внутренней полости ГТЗ. Регулирование частоты вращения ротора ГТЗ

осуществляется следующим образом. Изначально требуемая частота вращения ротора выставляется при помощи рукоятки 2. При этом поршень 3 принимает некое равновесное положение, при котором давление, поступающее от рукоятки 2, уравнивается давлением от связанного с ротором насоса. Если по какой-либо причине частота вращения ротора изменяется, то изменяется также и частота вращения связанного с ним насоса, а значит, и давление в полости 4. Поскольку давление от рукоятки остается неизменным, то происходит перемещение поршня 3, штока 7 и клапана 5, из-за чего изменяется площадь сечения на выходе ГТЗ. Как следствие изменяется степень наполненности внутренней полости ГТЗ, из-за чего ротор снова разгоняется (или замедляется) до исходной частоты вращения. Таким образом, частота вращения ротора поддерживается постоянной.

Заключение

В настоящее время большой популярностью пользуются ретардеры гидравлического типа. Данные устройства могут оснащаться системами управления как с гидравлическими, так и с пневматическими исполнительными механизмами (клапанами). При этом СУ с гидравлическими клапанами, как правило, устанавливаются на ГТЗ, которые совмещены с ГМП. Данное решение позволяет использовать некоторые узлы ГМП для нужд ГТЗ, например, масляный поддон, масляный насос, различные магистрали с регулируемыми величинами давлений и др. В свою очередь, СУ с пневматическими клапанами устанавливаются на ГТЗ, которые никак не связаны с основной коробкой передач автомобиля. В данном случае источником сжатого воздуха служит пневмосистема автомобиля (а как известно, большинство грузовых и специальных автомобилей уже имеют в своем составе устройства для получения и хранения сжатого воздуха). В качестве обратной связи для регулирования величины тормозного момента данные СУ используют либо давление масла на входе в ГТЗ, либо степень заполнения маслом контура ГТЗ (путем контролирования вытесненного из бака объема масла). Можно сделать вывод о том, что данные параметры (давление на входе и степень заполнения контура) связаны между собой. Точный характер данной связи будет устанавливаться в ходе дальнейших исследований.

Литература

1. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая

часть : учеб. пособие для вузов / А. И. Гришкевич [и др.] ; под ред. А. И. Гришкевича. – Мн. : Вышэйшая школа, 1987. – 200 с.

2. Нарбут, А. Н. Гидротрансформаторы / А. Н. Нарбут. – М. : Машиностроение, 1966. – 216 с.

3. Стесин, С. П. Лопастные машины и гидродинамические передачи : учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / С. П. Стесин, Е. А. Яковенко. – М. : Машиностроение, 1990. – 240 с.

4. Алексапольский, Д. Я. Гидродинамические передачи / Д. Я. Алексапольский. – М. : Машгиз, 1963. – 271 с.

5. Трансмиссии Allison [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.allison-transmission.com/ru-ru/transmissions>. Дата доступа: 03.10.2022.

6. Voith retarders – for greater safety, cost-effectiveness, and sustainability [Electronic resource]. – Mode of access: <https://voith.com/corp-en/braking-systems/retarders-trucks.html>. – Date of access: 03.10.2022.

7. Troubleshooting Manual. Allison Transmission. MD/HD/B Series Transmissions. WTEC II Controls. (Pre-TransID and TID 1). Revision 1, 199910. – Allison Transmission, 1998. – 396 p.

8. АКП Allison 3000 серии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ndgs.ru/katalog/allison/new/3k/>. – Дата доступа: 03.10.2022.

9. Сервисная инструкция Тормоз-замедлитель Voith VR 115 TMZ. – Voith Turbo, 2012. – 109 с.

10. Гавриленко, Б. А. Гидравлические тормоза / Б. А. Гавриленко, В. А. Минин, Л. С. Оловников. – М. : Машгиз, 1961. – 244 с.

UDC 681.5.043

SEVRUK Victor S.,

Design engineer of the 1st category¹

E-mail: viktrsevruc@rambler.ru

RUCKTESCHELL Oleg S., D. Sc. in Eng., Prof.

Professor of the department «Cars»²

E-mail: ruktshel@bntu.by

¹JSC Minsk Wheel Tractor Plant, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 May 2022

ANALYSIS OF SCHEMES OF RETARDER CONTROL SYSTEMS PRODUCED BY DOMESTIC AND FOREIGN MANUFACTURERS

Currently, hydraulic retarders are manufactured by many companies. The scope of application of such units is very wide: these are passenger cars, buses, and various special heavy-duty vehicles. When driving on a flat road, the retarder allows you to save the service life of the main brake system and repair and replace it less often, which is most important for passenger cars. When driving on long descents, the retarder allows you to maintain the required speed for a long time and not overheat the braking mechanisms, which is important for buses and special vehicles. By studying the schemes of various models of retarders and their control systems, one can get a lot of useful information about the algorithms of their operation, control features, methods of controlling the braking torque. This information can be useful both for educational purposes and for developing your own retarder control system. This article presents the results of the study of retarder control systems of the main manufacturers. The principles of their operation and their application features are described, advantages and disadvantages are noted. Based on the collected information, a conclusion is made about the basic principles of regulating the braking torque created by the retarder.

Keywords: *transmission, hydromechanical transmission, hydraulic retarder, automatic control system, functional diagram.*

References

1. Cars: Construction, constructing and calculation. Control systems and chassis : Textbook for universities / A. I. Grishkevich [et al.] ; edited by A. I. Grishkevich. – Mn. : Higher School, 1987. – 200 p.

2. Narbut, A. N. Hydraulic transformers / A. N. Narbut. – M. : Mashinostroenie, 1966. – 216 p.

3. Stesin, S. P. Paddle machines and hydrodynamic gears : textbook for university students in the specialty «Hydraulic machines, hydraulic drives and hydropneumoautomatics» / S. P. Stesin, E. A. Yakovenko. – M. : Mechanical Engineering, 1990. – 240 p.

4. Aleksapolsky, D. Ya. Hydrodynamic transmission / D. Ya. Aleksapolsky. – M. : Mashgiz, 1963. – 271 p.

5. Allison transmissions [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.allison>

[transmission.com/ru-ru/transmissions](https://www.allison.com/ru-ru/transmissions). – Date of access: 03.10.2022.

6. Voith retarders – for greater safety, cost-effectiveness, and sustainability [Electronic resource]. – Mode of access: <https://voith.com/corpen/braking-systems/retarders-trucks.html>. – Date of access: 03.10.2022.

7. Troubleshooting Manual. Allison Transmission. MD/HD/B Series Transmissions. WTEC II Controls. (Pre-TransID and TID 1). Revision 1, 199910. – Allison Transmission, 1998. – 396 p.

8. Automatic transmission Allison 3000 series [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ndgs.ru/katalog/allison/new/3k/>. – Date of access: 03.10.2022.

9. Service manual Retarder Voith VR 115 TMZ. – Voith Turbo, 2012. – 109 p.

10. Gavrilenko, B. A. Hydraulic brakes / B. A. Gavrilenko, V. A. Minin, L. S. Olovnikov. – M. : Mashgiz, 1961. – 244 p.

КАПСКИЙ Д. В., д-р техн наук, доц.,
декан автотракторного факультета
E-mail: d.kapsky@bntu.by

БОГДАНОВИЧ С. В., канд. техн. наук, доц.,
зав. кафедрой «Транспортные системы и технологии»
E-mail: oapdd@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 07.07.2022.

БИОНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ

В крупнейших городах, следует внедрять политику по бионическому развитию транспортных систем и применению естественных подходов к регулированию транспортного спроса, повышению привлекательности маршрутного пассажирского транспорта и его конструкции, развитию средств индивидуальной мобильности и немоторизованного транспорта. Следует отметить, что проблемы городской транспортной системы очень многогранны и сложны, должен строиться на основе бионических подходов, очевидных и понятных, направленных на устойчивое развитие городской транспортной системы и города в целом.

Ключевые слова: город, бионика, устойчивость, бионическое развитие, транспортная система.

Введение

Тренд последнего времени – быстрая урбанизация [1]. Уже с 2007 года более 50 % населения мира проживает в агломерациях (городах), а к 2050 – будет проживать более 70 % [2, 3]. Это требует разработки новых подходов к транспортной планировке городов, планированию городского пространства, инженерной транспортной инфраструктуры, особенно с учетом экологического воздействия транспорта на городские экосистемы [4]. Неукоснительный рост городского населения, без условно, влияет на расширение городских территорий, увеличивает спрос на грузовой и пассажирский транспорт (устойчивую мобильность). Как известно, предметом бионики является изучение того, какие природные процессы или структуры могут дать человеку новые возможности, понизить энергопотери, улучшить различные показатели и адаптируемость пространства или объектов к окружающей среде; в рамках науки, в случаях, когда это приемлемо, разрабатываются и новые принципы формообразования, эстетики [5, 6]. Она включает два основных направления. Первое – строительство с применением материалов, обладающих свойствами природных тканей – растительных и животных (биоматериаловедение).

Основные задачи, которые решает биоматериаловедение – не только «зеленое» строительство, но и повышение прочности и долговечности конструкций [7–9]. Второе – создание новых конструкций, в основе которых лежит принцип функционирования и устройства организмов (биотектоника). Любое живое существо на нашей планете представляет собой совершенную систему, идеально приспособленную к окружающей среде. Природа разрабатывала эти механизмы на протяжении миллиардов лет, теперь ученые хотят использовать ее «опыт» на благо человечества [10–12].

Устойчивость в несимметричном и неустойчивом?

Перспективным направлением в бионике является создание слоистых конструкций по принципу устройства ракушек глубоководных моллюсков. Они состоят из мягких и жестких пластинок, чередующихся между собой, – если в жесткой пластине появляется трещина, повреждение поглощает мягкий слой. Такое решение уже давно используется в перепроектировании элементов пассивной безопасности автомобилей (например, бамперов). Также клеточная структура живых организмов – многослойная

конструкция из взаимосвязанных спиц, которая обеспечивает поддержку в трех измерениях для большей амортизации шины Хэнкук. Так, казалось бы, неустойчивые, различные, по сути, и непохожие по содержанию и размерам ячейки, становятся надежной защитой человеку в его транспортной жизни. Снизилась скорость сооб-

щения, ухудшились режимы движения, появились перегрузки, возросло количество аварий. Именно поэтому качество транспортных систем выходит на первый план, принося не только положительные, но и отрицательные эффекты в городскую жизнь (рисунок 1).



Рисунок 1 – Подходы к оценке влияние автомобилизации на человека

Быстрая урбанизация вызывает динамичное развитие городских территорий, что в свою очередь создает серьезные проблемы для предоставления транспортных услуг растущему населению. Требуется трансформация экологичной, устойчивой городской транспортной системы с учетом бионических подходов, включая учет транспортных, экономических, экологических и социальных аспектов (рисунок 2 и 3).

Таким образом, устойчивое развитие отвечает потребностям настоящего без ущерба для способности будущих поколений для удовлетворения своих собственных потребностей [6]. А как этого достичь, если не примеряя естественные, бионические подходы!?

Бионическая инженерия – это инновационное биомоделирование или изучение природы. По сути бионика представляет собой поиск приемлемых для человека решений проблем и задач, используя естественные принципы, дает

инженерам возможность использовать это творчество в развитии материалов, конструкций и процессов (причем нет строгой процедуры для определения того, какой организм или живая система являются наиболее подходящими). На рисунке 4 показана фотография города Минска – его радиально-кольцевой структуры транспортной системы, такой же, как и в Москве, Киеве. Напоминает паутину, в которой центр – ступица – где находится паук, свободная зона (аналог срединной зоны города) и ловчая спираль (немного не доходит до «ступицы», оставляя свободную зону) – на периферийной зоне, чтобы держать нагрузку из обильных жертв, схваченных сетью. Эта планировочная структура определяется пауком возможностью создания удобной, постоянной и надежной взаимосвязи всех частей паутины = города.



Рисунок 2 – Мировоззренческие аспекты использования дорожных транспортных средств



Рисунок 3 – Роль транспортной системы в логистике города



Рисунок 4 – «Паутина» города: Минск

В этом случае налажена хорошая связь между окраинами, куда попадает жертва, и центром, где располагается паук. Однако при такой схеме затруднены связи периферийных районов друг с другом, но этого пауку и не требуется! Поэтому такая транспортная система требует внимания к проблеме развития центра и роста интенсивности движения в его пределах – в центр к пауку жертвы (личный транспорт множества) попасть не должны, ибо порвется (перегрузится) паутина! На таком простом примере проиллюстрированы принципы системности транспортной системы бионического города: отход от механического сложения элементов транспортного каркаса города к их функциональной гармонии, к взаимосвязи всех их частей, к единству целого и частного, к подчинению частного целому. В этом случае проявляются корреляция и компенсация – регуляторы

целостности живых организмов. Необходимо отметить принцип саморегуляции – накопление информации электронным мозгом транспортной системы о всех сторонах жизни города и потребностях в различных перемещениях и на этой основе управление его развитием (перемещение населения в соответствии с потребностями производства и емкостью транспорта, размещение производственных предприятий и построение транспортных сетей, изменение положения районных административных центров, размещение «легких» города – его зеленых насаждений и т. д.), поддержание постоянства благоприятной среды — гомеостаза города. Этот принцип особенно актуален в современных условиях, когда можно просто, не выходя из комнаты, распечатать город на 3D-принтер (iГород).



Рисунок 5 – «Вертикальные леса» – бионическое компактное комфортное расселение (Китай, жилой квартал, архитектор Стефано Боэри; 2022)



Рисунок 6 – Бионика в конструкции транспортных средств

Для устойчивого развития требуется больше комфортных пространств (рисунок 5, компактное жизнеобеспечивающее расселение, физическая и финансовая доступность, использование возобновляемых источников энергии (солнечной и ветровой), при обеспечении удобства и интермодальности, безопасности (вкладываемое комплексное понятие). Это позволит минимизировать использование транспорта и гармонично использовать все виды маршрутного пассажирского транспорта и средств индивидуальной мобильности (в том числе транспорт совместного пользования и воздушную мобильность (вертикальные и горизонтальные виды транспорта (рисунок 6).

Все это радикально влияет и на списки будущих профессий, и на инфраструктуру обитания в городах, и на образ жизни, и на индустрии производств продуктов и образовательных услуг (особенно сферы переподготовки кадров и личностного роста) и многое другое. И отдавая заботу на сторону, он перестает быть самим собой. Происходит уход человека в виртуальный мир и выстраивание в нем иного образа жизни. Данный аспект интенсифицировался с распространением коронавируса. «Волны» захлестнули не только больницы, но и умы. Произошло резкое смещение ценностного центра из реального социального мира – в другой, тоже реальный, но виртуальный мир (рисунок 7).



Рисунок 7 – Виртуальные «транспортные» системы (транспортируем – вплоть до мысли?)

Например, Facebook в 2021 году заявил об амбициозных планах по построению мира виртуальной реальности («Метавселенной»). На лицо перемещение «транспортных проблем» в виртуальные миры. Происходит радикальная смена идентичности человека за счет мобильности в открытом мире – формируется «homo mobiles». Человек демонстрирует «сидячую» мобильность: в самолете (беспилотном авто), с

мобильником, планшетом и в социальных сетях. В силу этого формируется и соответствующая идентичность – биомех или киборг. Это не техническое устройство, а гибрид человека и машины. И, кстати, телесный вид давно начал изменяться – меняются ноги, руки, органы человека, и даже говорят о сканировании и замене его мозга. Некое бионическое функциональное устройство, в котором в принципе все его части заменимы на более долговечные, в результате чего получается «постчеловек».

Выводы

В современном городе должны применяться новые биопозитивные, экологичные решения транспортной системы – как жизненно важного органа для существования города, как единого, целостного организма. На основе краткого анализа бионического подхода к созданию транспортных объектов и систем можно заключить, что бионика – мировое передовое направление развития инженерной мысли, которое имеет меж(мульти)дисциплинарный характер. Но она на сегодняшний день не заняла должного места в проектировании транспортных систем как на постсоветском пространстве, так и в мире, поэтому данное направление нуждается в дальнейшем развитии, ведь бионический подход позволяет сократить разрыв между техногенным миром и природой, придав устойчивость любым технологическим решением, оставляя за человеком возможность развиваться.

Литература

1. World urbanization prospects: The 2014 revision [Electronic resource]. – Mode of access: https://population.un.org/wup/publications/files/wup_2014-report.pdf. – Date of access: 07.07.2022.
2. United Nations. World urbanization prospects: The 2005 revisions. [Electronic resource]. – Mode of access: https://digitallibrary.un.org/record/622619/files/WUP_2005.pdf – Date of access: 07.07.2022.
3. Chester, M. V. Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains/ M. V. Chester, A. Horvath. – Environ. Res. Lett. 2009.
4. Устойчивые города: почему это важно [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/ru/development/devagenda/pdf/Russian_Why_it_matters_Goal_11_Cities.pdf. – Дата доступа: 07.07.2022.
5. Архитектурная бионика / Рабинович В. И., [и др.]; под ред. Ю.С Лебедева. – Москва, 1990. – 269 с.

6. Brundtland, G. H. Our common future: The World Commission on Environment and Development [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. – Date of access: 07/07/2022

7. Система городского общественного транспорта будущего : сб. докладов НТК «Автомобильные дороги: безопасность и надежность», часть 1, 22–23 ноября 2018 года / Капский Д. В., Пролиско Е. Е., Шуть В.Н. ; ОНТИ ГП «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ». – С. 194–202.

8. Транспорт в городах, удобных для жизни / Вучик В. Р., Калинин А. – М. : ИД Тер. будущего, 2011. – 576 с.

9. Brueckner, J. K. Lectures on urban economics / J. K. Brueckner. – Cambridge, Mass.: MIT Press, 2011. – 285p.

10. Капский, Д. В. Проблемы городской логистики симбиотических городов / Автомо-

бильные перевозки и транспортная логистика: теория и практика : сборник научных трудов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» (с международным участием) / под научн. ред. Е. Е. Витвицкого. – Омск : СибАДИ, 2021. – С. 37–43.

11. Капский, Д. В. Устойчивая логистика умных симбиотических городов / Д. В. Капский, С. В. Богданович // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 25–26 ноября 2021 г.): в 2 ч / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Ч. 1. – С. 22–24.

12. Как Facebook планирует зарабатывать на своей «Метавселенной»? / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://marketinfo.pro/news/kak-facebook-planiruet-zarabatyvat-na-svoej-metavselennoj>. – Дата доступа: 07.07.2022.

UDC 656

KAPSKI Denis V., D. Sc. in Eng., Ass. Prof.,
Dean of the Faculty of Automotive Engineering
E-mail: d.kapsky@bntu.by

BOGDANOVICH Sergey V., Ph.D., Ass. Prof.,
Head of the department «Transport systems and technologies»
email: oapdd@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 07 July 2022

BIONIC DEVELOPMENT OF URBAN TRANSPORT SYSTEMS

The modern city is an extremely complex, self-developing organism, trying to make its transport system more sustainable. This becomes even more urgent in a pandemic. Therefore, especially in the largest cities, it is necessary to implement a policy on the bionic development of transport systems and the use of natural approaches to regulating transport demand, increasing the attractiveness of route passenger transport and its design, developing means of individual mobility and non-motorized transport. It should be noted that the problems of the urban transport system are very multifaceted and complex, they require coordination of the efforts of the public and private sectors of the economy, which is very fragmented, with different and conflicting views and goals, reacts sharply to changes in the urban (transport) environment and should be built on the basis of bionic approaches, obvious and understandable, aimed at the sustainable development of the urban transport system and the city as a whole..

Key words: city, bionics, sustainability, bionic development, transport system.

References

1. World urbanization prospects: The 2014 revision [Electronic resource]: ST/ESA/SER.A/366. – Mode of access: <https://population.un.org/wup/publications/files/wup2014-report.pdf>. – Date of access: 07.07.2022.
2. United Nations. World urbanization prospects: The 2005 revisions. [Electronic resource]. – Mode of access: https://digitallibrary.un.org/record/622619/files/WUP_2005.pdf – Date of access: 07.07.2022.
3. Chester, M. V. Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains/ M. V. Chester, A. Horvath. – Environ. Res. Lett. 2009.
4. Sustainable cities: why is it important [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.un.org/ru/development/devagenda/pdf/Russian_Why_it_matters_Goal_11_Cities.pdf. – Date of access: 07.07.2022. (in Russian).
5. Architectural Bionik / Rabinovich V.I., [et al.]; Ed. Yu.S. Lebedev. – Moscow, 1990. – 269 p. (in Russian).
6. Brundtland, G. H. Our common future: The World Commission on Environment and Development [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Date of access: 07/07/2022.
7. The system of urban public transport of the future / D. V. Kapsky, E. E. Prolisko, V. N. Shut / Collection of reports of MNTK «Automobile Roads: Safety and Reliability». – Part 1, 22–23 of November 2018. – ONTI «Belarusian Road Research Institute «SE Beldornii». – P. 194–202. (in Russian).
8. Transport in cities convenient for life / A. Kalinin. – M.: Territory of the future, 2011. – 576 p. (in Russian).
9. Brueckner, J. K. Lectures on urban economics / J. K. Brueckner. – Cambridge, Mass.: MIT Press, 2011. – 285 p.
10. Kapsky, D. V. Problems of urban logistics of symbiotic cities / automobile transportation and transport logistics: theory and practice: collection of scientific works of the department «Organization of transportation and management of transport» (with international participation) / under scientific. Ed. E. E. Vitvitsky. – Omsk: Sibadi, 2021. – P. 37–43. (in Russian).
11. Kapsky D. V. Sustainable logistics of smart symbiotic cities / D. V. Kapsky, S. V. Bogdanovich / Problems of safety in transport: Materials of the XI Intern. Scientific and practical. Conf. (Gomel, November 25–26, 2021): in 2 parts. – Part 1 / BelGUT Under the general. Ed. Yu. I. Kulazhenko. – Gomel: BelGUT, 2021. – P. 22–24. (in Russian).
12. How does Facebook plan to make money on its «metavselnaya»? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://marketinfo.pro/news/kak-facebook-planiruet-zarabatyvat-na-svoej-metavselnoy>. – Date of access: 07.07.2022. (in Russian).

УДК 656.13

КАПСКИЙ Д. В., д-р техн наук, доц.,
декан автотракторного факультета
E-mail: d.kapsky@bntu.by

БОГДАНОВИЧ С. В., канд. техн. наук, доц.,
зав. кафедрой «Транспортные системы и технологии»
E-mail: oapdd@bntu.by

КОТ Е. Н., канд. техн. наук, доц.,
доц. кафедры «Транспортные системы и технологии»
E-mail: oapdd@bntu.by

БУРТЫЛЬ Ю. В.,
ст. преп. кафедры «Транспортные системы и технологии»
E-mail: oapdd@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 07.07.2022

ОЦЕНКА ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ВЪЕЗДНЫХ ГРУПП В ГОРОДАХ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ КАЗАХСТАНА

В статье рассмотрены вопросы выявления фактического состояния въездных групп городов, повышение безопасности движения на въездных группах. Проведено изучение ситуации на въездных группах городов республиканского и областного значения, изучение возможных направлений и интенсивности движения транспортных потоков, планов развития инфраструктуры, а также мест наибольшего тяготения транспорта; систематизация полученных данных и их статистическая обработка. Выполнена корректировка и эффективная реализация имитационных моделей по въездным группам городов. Разработаны предложения, которые позволят сформулировать требования по обустройству въездных групп городов в Республике Казахстан для адаптации к более низким скоростям движения и смене условий конфликтного взаимодействия.

Ключевые слова: *въездные группы в города, безопасность дорожного движения, городская территория, транспортная система, моделирование транспортного потока, имитационная модель.*

Введение

Выполнен сбор детальных данных с выездом на место по въездным группам городов республиканского и областного значения, необходимых для формирования многофакторной индивидуальной имитационной модели (генеральные планы развития территорий городов, социально-экономические факторы, социальные исследования изучения пользователей дорог, характеристики транспортного потока, транзитный потенциал городов, состояния транспортной инфраструктуры в радиусе 15 км от границы городов и т. п.). Заказчиком работы для анализа определены следующие города: Костанай, Павлодар, Усть-Каменогорск, Туркестан, Семей, Атырау в Казахстане. Наиболее

сложными для обеспечения безопасности движения автотранспорта являются участки автомобильных дорог республиканского значения – подъездов к городам республиканского и областного значения [1–3].

Градостроительная нагрузка, развитие пригородных территорий способствуют росту интенсивности и смешанности транспортного потока, а также пропуска транзитного транспорта. Эта ситуация усугубляется если движение осуществляется по двух полосным дорогам. Все это в совокупности отражается на безопасности дорожного движения. Так, на подъездах к крупным городам Казахстана темпы прироста количества ДТП превышают 4–8 % за год.

Градостроительными проектами развития территорий городских агломераций предусмотрено решения некоторых вопросов. Но их реализация в краткосрочной перспективе требует существенных инвестиций, а также исследований в области безопасности дорог. Детальный сбор данных по въездным группам городов необходимых для формирования в дальнейшем индивидуальной имитационной модели (генеральные планы развития территорий городов, социально-экономические факторы, социальные исследования изучения пользователей дорог, характеристики транспортного потока, транзитный потенциал городов, состояния транспортной инфраструктуры в радиусе 15 км от границы городов и т. п.). На ее основании в дальнейшем. Будут разрабатываться типовые (или нестандартные) решения и организация средств дорожного движения. К преимуществам данного исследования является индивидуальный подход к каждому объекту исследования. Индивидуализация и, в последующем, систематизация объектов исследования позволит подобрать наиболее актуальные технические средства и проектные решения для локализации проблемных участков на перспективу не менее 10 лет.

Общие положения по опасным участкам

К ним можно отнести зоны железнодорожных переездов и места входных групп автомобильных дорог в города, которые характеризуются существенными изменениями условий движения [2–3]. Для Республики Казахстан

необходимо адаптировать имитационные модели под существующие (возможные) особенности и условия. С целью выявления фактического состояния въездных групп городов в Казахстане необходимо провести сбор данных и спроецировать полученную ситуацию на имитационные модели. В период 2008–2014 гг. в РК были построены несколько новых железнодорожных линий, улучшающих связность сети в центральной и западной частях страны, а также ликвидирующих необходимость при внутренних перевозках выезжать на территорию Российской Федерации [4–8]. В результате конфигурация железнодорожной сети изменилась (рисунок 1).

Общее количество пересечений республиканских автомобильных дорог РК с железными дорогами в разных уровнях (путепроводы, тоннели) составляет 103 шт., пересечений в одном уровне (железнодорожных переездов) – 78 шт.

Распределение ЖДП и пересечений в разных уровнях по областям РК приведено на рисунке 2.

В Жамбылской области ЖДП на республиканских дорогах отсутствуют, все 7 пересечений с железнодорожными линиями устроены в разных уровнях с применением путепроводов.

К 1-й категории отнесены 2 ЖДП (4 %), ко 2-й категории – 7 ЖДП (13 %), к 3-й категории – 12 ЖДП (22 %), к 4-й категории – 33 ЖДП (61 %) (рисунок 3).



Рисунок 1 – Схема железных дорог Республики Казахстан после 2016 г.

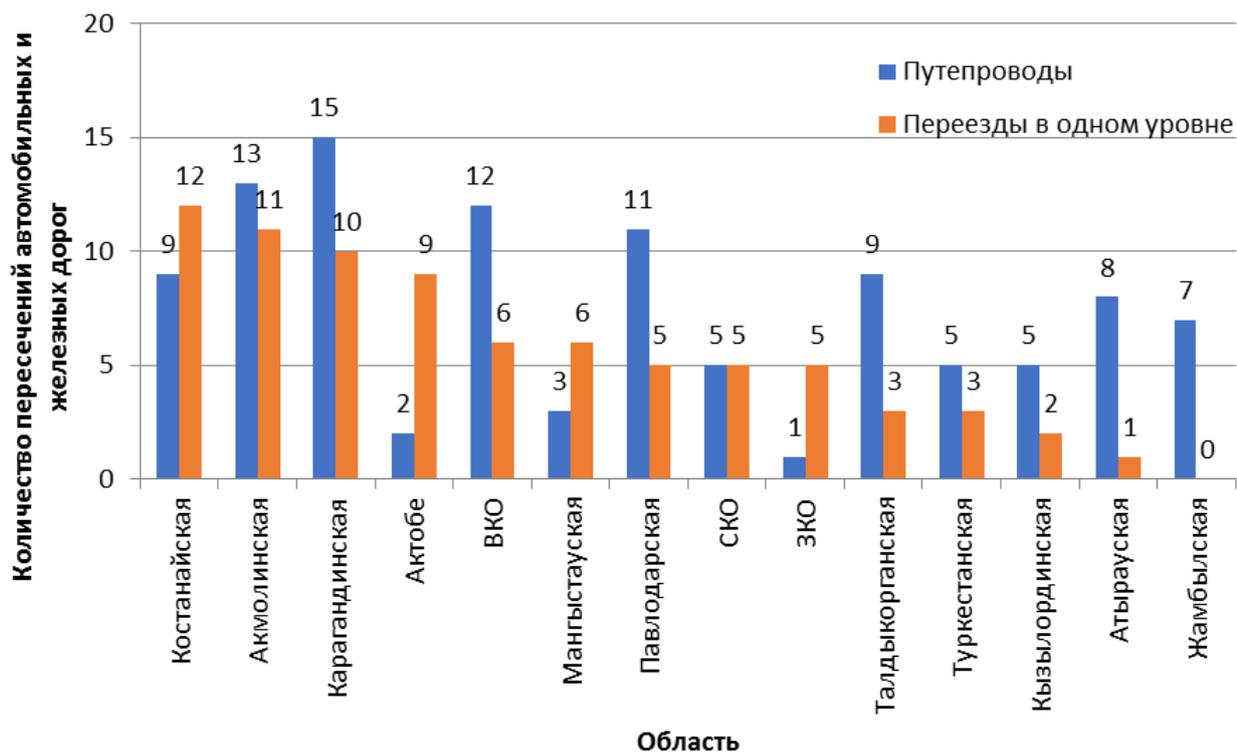


Рисунок 2 – Распределение ЖДП и пересечений в разных уровнях по областям РК

Из 54 ЖДП, для которых есть данные по наличию охраны, 25 (46 %) являются неохраняемыми, 29 (54 %) – охраняемыми (рисунок 4).

17 ЖДП оборудованы шлагбаумами какого-либо типа, 30 ЖДП – автоматической переездной сигнализацией (АПС) (рисунок 5).

37 ЖДП устроены через один ж.-д. путь, 12 ЖДП – через 2 пути, по одному ЖДП – через 3 и 7 путей (рисунок 8). Для 27 ЖДП по этому параметру нет данных.

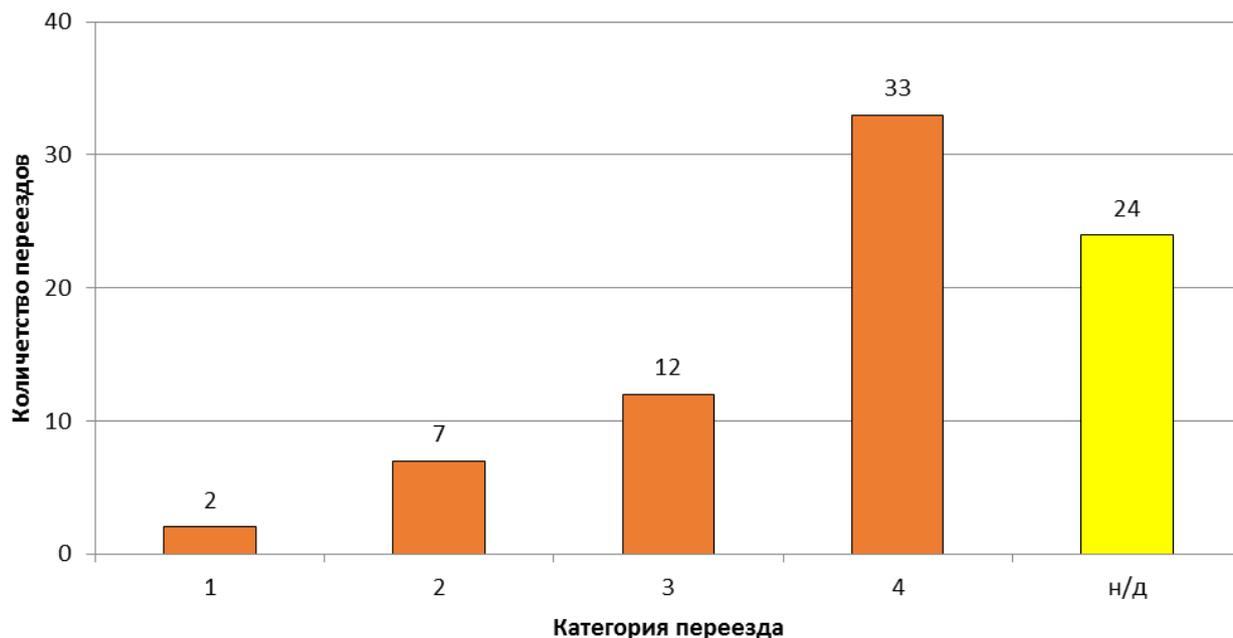


Рисунок 3 – Распределение ЖДП по категориям

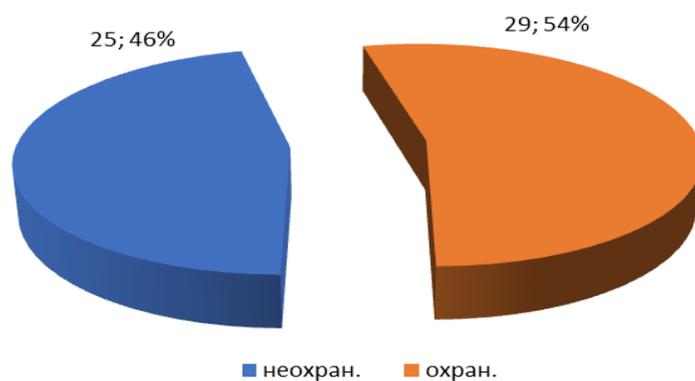


Рисунок 4 – Распределение 54 ЖДП по наличию охраны

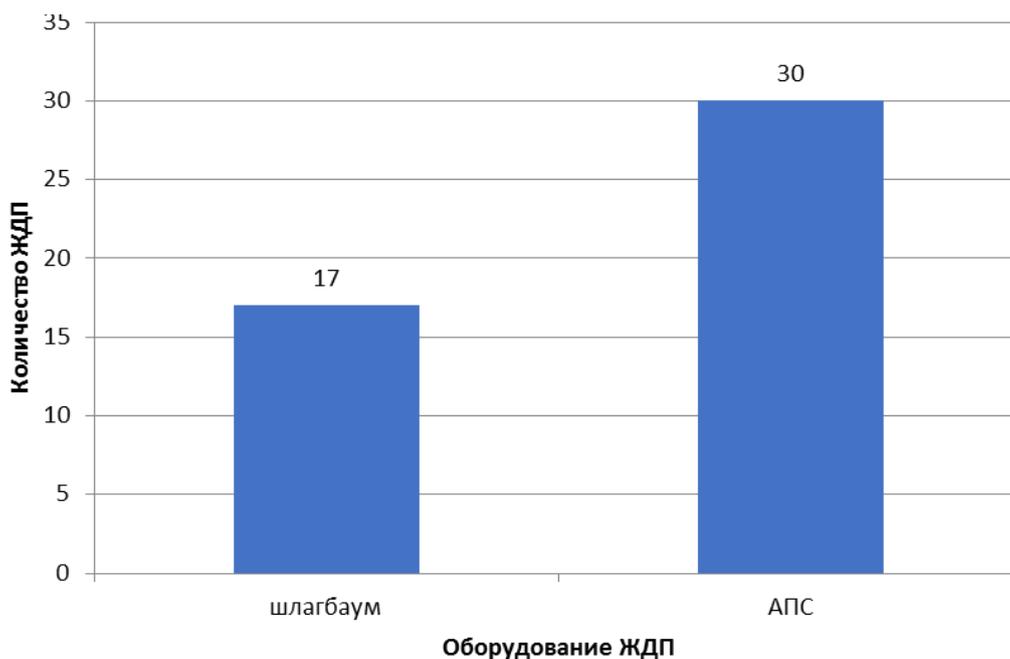


Рисунок 5 – Наличие на ЖДП шлагбаума и автоматической переездной сигнализации (АПС) (данные для 47 ЖДП)



Рисунок 6 – Распределение ЖДП по количеству пересекаемых путей (51 ЖДП)

Ширина настила ЖДП изменяется от 5,4 м (рисунок 7, по сведениям для 64 ЖДП). Наиболее частым является значение ширины в диапазоне от 6 до 8 м (39 ЖДП, 61 %). Для 14 ЖДП по этому параметру нет данных.

Наибольший «разброс» значений ширины настила для ЖДП 4 категории (от 5,4 м до 17 м, рисунок 8).

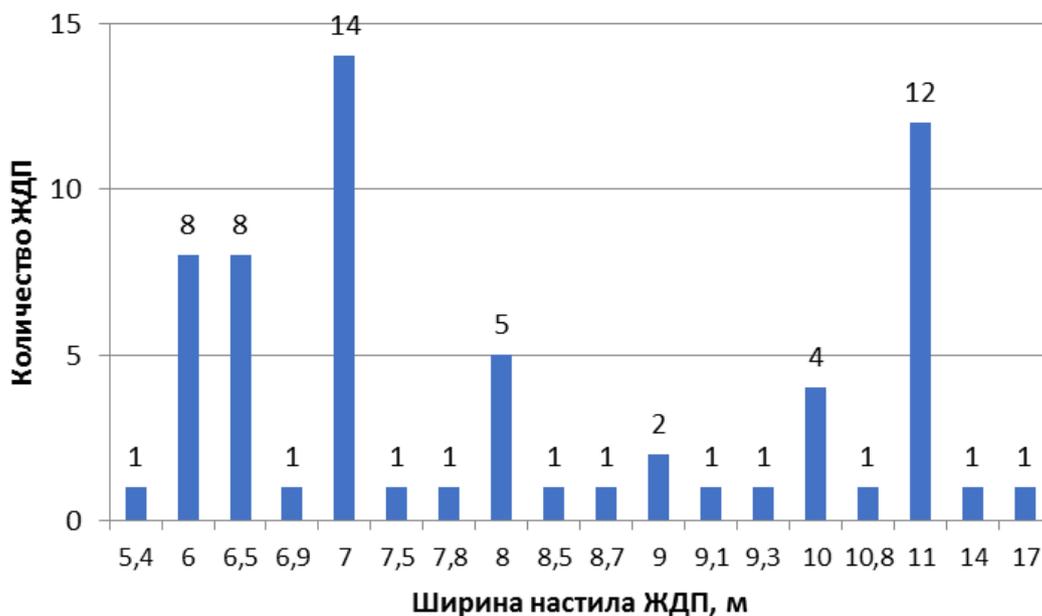


Рисунок 7– Распределение ЖДП по ширине настила (64 ЖДП)

Следует отметить, что проблема с аварийности на ЖДП в РК существует. Однако каких-либо устойчивых тенденций в изменении показателей аварийности из приведенных выше данных выявить не представляется возможным. Кроме того, отсутствие разделения данных на ЖДП, расположенные на республиканских и местных других дорогах еще более затрудняет

использование таких данных каких-либо относительно формализованных моделях [3, 9–12]. Необходимо значительное улучшение качества исходных данных (а также увеличение периодов анализа) для возможности использования их в имитационных моделях для оценки уровня безопасности дорожного движения.

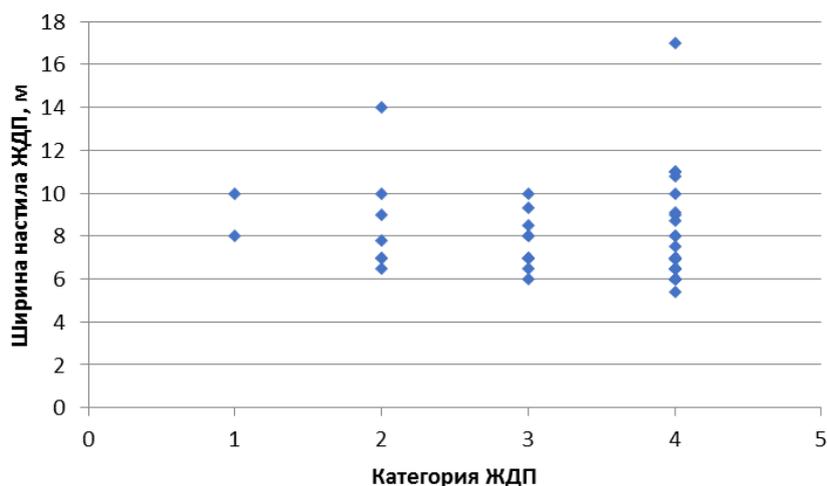


Рисунок 8 – Распределение ширины настила на ЖДП разных категорий (64 ЖДП)

Анализ условий движения на въездных группах.

Под «въездными группами» (въездными участками, ВУ) для целей настоящего исследования понимаются пригородные (находящиеся вне территории города, но прилегающие к ней)

участки республиканских автомобильных дорог. Протяженность ВУ определяется в каждом случае индивидуально в зависимости от территориального размещения объектов, влияющих на характеристики транспортного потока и

условия дорожного движения по нему (населенные пункты, промышленные предприятия, большие мосты, путепроводы, железнодорожные переезды и т. п.).

Границами ВУ являются:

– граница городской территории (со стороны, ближайшей по отношению к центру города);

– характерный участок автомобильной дороги (перекресток, кольцевая развязка в одном уровне, развязка в разных уровнях, мост, путепровод, железнодорожный переезд) с внешней от центра города стороны (при этом такой характерный участок включается в состав въездного участка).

Протяженность въездного участка составляет, как правило, от 10 до 15 км.

При отсутствии кольцевых или объездных дорог въездной участок, как правило, начинается от границы городской территории.

При наличии кольцевых или объездных дорог одна из границ въездного участка будет размещаться на пересечении радиальной и объездной дорог (ПРОД). При этом сам въездной участок может быть размещен между ПРОД и границей города (при размещении объездной дороги на значительном удалении от города) либо во внешнюю сторону радиальной дороги (при малом расстоянии от границы городской территории до объездной дороги).

В некоторых случаях при необходимости в состав ВУ может включаться участок улицы, являющейся продолжением республиканской автомобильной дороги на территории города на некотором протяжении от границы города.

Характерными особенностями ВУ являются:

1. Максимальная для радиальной дороги интенсивность движения, так как транспортные потоки с пересекающих дорог собираются в направлении к городу.

2. Изменение установленного скоростного режима движения от «загородного» (с ограничением максимальной скорости 90 – 100 – 110 – 120 км/ч) к «городскому» (с ограничением скорости 60 км/ч);

3. Увеличение плотности транспортного потока на каждой полосе движения, увеличение количества вынужденных перестроений, в том числе в условиях ограниченного времени.

4. Частое образование предзаторовых ситуаций, в некоторых случаях, перерастающих в заторы (как правило, в вечерние часы в пятницу и в воскресенье).

5. Увеличение количества сельских населенных пунктов в зоне непосредственного влияния автомобильной дороги, а в некоторых случаях – прохождение дороги через территорию таких населенных пунктов.

6. Увеличение интенсивности движения пешеходов и велосипедистов как вдоль дороги, так и в пересекающих ее направлениях.

7. Увеличение частоты движения маршрутных транспортных средств и помех, создаваемых ими для других транспортных средств при въезде-выезде от остановочных пунктов.

8. Увеличение количества наземных пешеходных переходов.

9. Появление участков со светофорным регулированием.

10. Появление участков с искусственными неровностями.

11. При движении от города – постепенное снижение плотности потока и появление условий для резкого увеличения скорости.

12. Повышенный уровень аварийности, в том числе из-за «смешанных» условий и переходных режимов движения.

Для дальнейшей оценки и анализа выбраны въездные участки республиканских автомобильных дорог на подходах к 6 городам областного подчинения: Усть-Каменогорск, Павлодар, Семей, Уральск, Атырау, Туркестан (таблица 1).

Таким образом можно сделать вывод, что использование простых имитационных моделей не позволит достигнуть ожидаемых результатов по следующим причинам:

– для получения качественных результатов требуются полноценные исходные данные, получение которых, как правило, затруднительно;

– результаты моделирования с использованием простых моделей требуют дополнительной интерпретации полученных результатов экспертов для подготовки вывода о возможности сохранения конкретного ЖДП в рассматриваемом месте пересечения автомобильной и железной дорог.

Таблица 1 – Общая характеристика въездных участков в города областного значения Усть-Каменогорск, Уральск, Туркестан, Павлодар, Семей, Атырау

№	№ до-роги	Наименование а/д республиканского значения	Гра-ница города, км, пк	Техни-ческая катего-рия	Тип одежды	Нали-чие разд. по-лосы	Ин-тен-сивность, авто/сутки	Область
1	А-3	Алматы – Усть-Каменогорск	1073	II	асфальтобетон	–	4007	ВКО
2	Р-24	Усть-Каменогорск – Семей	8	IV	асфальтобетон	–	1758	
3	Р-25	Усть-Каменогорск – Алтай-Улкен – Нарын-Катон – Карагай-Рахмановские ключи	0	III	асфальтобетон	–	1638	
4	А-9	Усть-Каменогорск – Риддер – граница РФ	0	II	асфальтобетон	–	1985	
5	А-10	Усть-Каменогорск – Шемонаиха–граница РФ	0	III	асфальтобетон	–	1952	
6	М-32	Самара – Шымкент	2113–2099	1-б	ц/бетон	+		Туркестан-ская
7	Р-31	Кентау – Төртколь	0	3	а/бетон	–		
10	М-32	Гр. РФ (на Самару) – Шымкент	251–261	I	а/бетон	–	4500	ЗКО
11	А-28	Атырау – Уральск	492	III	а/бетон	–	6000	
12	А-29	Уральск – Таскала – гр. РФ	4	II	а/бетон	–	3500	
13	А-32	Уральск – гр. РФ (на Бузулук	5	III	ч/щебень	–	3000	
14	А-17	Кызылорда – Павлодар – Успенка – гр. РФ	1244	1	асфальтобетон	нет	11347	Павлодар-ская
15			1244	3	асфальтобетон	нет	1432	
16			1314	3	асфальтобетон	нет	963	
19	А-18	Павлодар – Щербакты – гр. РФ	17	3	асфальтобетон	нет	684	
20			81	3	асфальтобетон	нет	538	
21		Павлодар – Успенка – гр. РФ	84	3	асфальтобетон	нет	438	
22			81	3	асфальтобетон	нет	538	
23	М-38	Гр. РФ (на Омск) – Майкашагай	355	3	асфальтобетон	нет	452	
24			304	3	асфальтобетон	нет	922	
27	М-36	Граница РФ (на Екатеринбург) – Алматы	417	2	асфальтобетон	нет	3100	Костанай-ская
28	М-36	Граница РФ (на Екатеринбург) – Алматы	437	3	асфальтобетон	нет	3400	
29	М-36	Граница РФ (на Екатеринбург) – Алматы	464	3	асфальтобетон	нет	3600	
30	А-21	Мамлютка – Костанай	181	3	асфальтобетон	нет	1350	
31	А-22	Карабутак – Комсомольское – Денисовка – Рудный – Костанай	487	3	асфальтобетон	нет	4400	
32	А-28	Атырау – Уральск	5	III	асфальтобетон	–	7282	Атырау
33	А-27	Актобе – Атырау – гр. РФ на Астрахань	598	III	асфальтобетон	–	7158	
34	А-27	Актобе – Атырау – гр. РФ на Астрахань	616	III	асфальтобетон	–	4114	

Сложных многофакторные модели реализуются с использованием специальных программных средств (PTV Vissim, PTV VISUM и др.). Приобретение таких программных средств требует дополнительных финансовых вложений, кроме того, для корректной их работы требуется множество исходных данных с тщательным подбором их значений (требующим длительной работы эксперта).

С учетом изложенного, предлагается вместо использования имитационных моделей для оценки уровня безопасности движения на железнодорожных переездах и на въездных участках использовать экспертный метод.

Заключение

Наиболее сложными для обеспечения безопасности движения автотранспорта являются участки автомобильных дорог республиканского значения на железнодорожных переездах и на подъездах к городам республиканского и областного значения. Такие участки требуют самого пристального внимания службы организации дорожного движения.

В процессе работ выполнена общая оценка безопасности дорожного движения на железнодорожных переездах, предложена имитационная модель движения транспорта по участкам дорог со специфическими условиями движения.

Обоснована замена имитационной модели на экспертную оценку безопасности дорожного движения в зоне железнодорожных переездов и на въездных участках республиканских автомобильных дорог в города областного подчинения.

Литература

1. Капский, Д. В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении: монография / Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2008. – 243 с.
2. Врубель, Ю. А. Опасности в дорожном движении : монография / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский. – Москва : Новое знание, 2013. – 244 с.
3. Метод прогнозирования дорожно-транспортной аварийности по потенциальной опасности / Д. В. Капский. – Москва, Новое знание, 2015. – 327 с.
4. О дорожном движении : Закон Республики Казахстан от 17.04.2017 (с изменениями и дополнениями по состоянию на 19.01.2019).
5. Правила эксплуатации железнодорожных переездов: утв. приказом Министра транспорта и коммуникаций Республики Казахстан от 25 марта 2011 г. (в редакции приказа Министра по инвестициям и развитию РК от 30.06.2017 № 415);
6. Проект приказа «Об утверждении Правил по устройству, оборудованию и обслуживанию, содержанию и ремонту железнодорожных переездов и технологических проездов» 2016 г.
7. Бюллетень Статистического комитета Республики Казахстан «О деятельности железнодорожного транспорта в Республике Казахстан в 2017 г.».
8. Информация АО «НК «КазАвтоЖол» по пересечениям автомобильных дорог республиканского значения с железными дорогами и въездным группам городов республиканского и областного значения (письмо АО «НК «КазАвтоЖол» 03-14-2-325-и от 08.02.2019 с приложениями в ответ на письмо ТОО «Голд Продактс» №1 от 08.01.2019);
9. Об утверждении Правил и условий классификации, перечня, наименования и индексов автомобильных дорог общего пользования международного и республиканского значения, в том числе перечня автомобильных дорог оборонного пользования. Приказ и. о. Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 26 марта 2015 года № 315. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 19 июня 2015 года № 11402.
10. ЦП-483 «Инструкция по эксплуатации железнодорожных переездов МПС России». Применяется на территории Республики Казахстан на основании приказа Министра транспорта и коммуникаций Республики Казахстан от 20 июля 1994 года № 97 по согласованию с МВД Республики Казахстан.
11. Анализ условий размещения на дорогах и характеристик железнодорожных переездов республики Казахстан / Д. В.Капский [и др.] // Наука и техника. – 2021. – Т. 20, № 3. – С. 224–233.
12. Состояние безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах республиканского значения Казахстана / Д. В. Капский [и др.] // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2021. – № 1. –С. 103–120.

KAPSKI Denis V., D. Sc. in Eng., Ass. Prof.,
dean of the Faculty of Automotive Engineering
E-mail: d.kapsky@bntu.by

BOGDANOVICH Sergey V., Ph.D., Ass. Prof.,
head of the department «Transport systems and technologies»
email: oapdd@bntu.by

KOT Evgeniy N., Ph.D., Ass. Prof.,
Ass. Prof.
E-mail: oapdd@bntu.by

BURTYL Yury V.,
Senior Lecturer
E-mail: oapdd@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 07 July 2022

TRAFFIC EVALUATION FOR ENTRY GROUPS IN CITIES AND RAILWAY CROSSINGS OF KAZAKHSTAN

The article deals with the issues of identifying the actual state of the entrance groups of cities, improving traffic safety at the entrance groups. A study was made of the situation at the entrance groups of cities of republican and regional significance, the study of possible directions and intensity of traffic flows, plans for the development of infrastructure, as well as places of greatest gravity for transport; systematization of the obtained data and their statistical processing. The adjustment and effective implementation of simulation models for the entrance groups of cities was carried out. Proposals have been developed that will make it possible to formulate requirements for the arrangement of entry groups of cities in the Republic of Kazakhstan to adapt to lower traffic speeds and changing conditions of conflict interaction.

Keywords: *entry groups to cities, road traffic safety, urban territory, transport system, traffic flow modeling, simulation model*

References

1. Kapsky, D. V. Prediction of accidents in road traffic: Monograph / D. V. Kapsky. – Minsk: BNTU, 2008. – 243 p. (in Russian).

2. Vrubel, Yu. A. Dangers in road traffic: Monograph / Yu. A. Vrubel, D. V. Kapsky. – Moscow: New Knowledge, 2013. – 244 p. (in Russian).

3. The method of forecasting road transport in potential danger / D. V. Kapsky. – Moscow, New Knowledge, 2015. – 327 p. (in Russian).

4. The Law of the Republic of Kazakhstan «On road traffic» dated 04/17/2017 (with amendments and additions as of 19.01.2019). (in Russian).

5. Rules for the operation of railway crossings. Approved by order of the mini-transport and communications of the Republic of Kazakhstan dated

March 25, 2011 (as amended by the order of the Minister for Investments and Development of the Republic of Kazakhstan dated 06.30.2017 № 415). (in Russian).

6. The draft order «On approval of the Pra-III on the device, equipment and maintenance, maintenance and repair of iron-rifle crossings and technological passes» 2016. (in Russian).

7. Bulletin of the Statistical Committee of the Republic of Kazakhstan «On the activities of the same leaf transport in the Republic of Kazakhstan in 2017». (in Russian).

8. Information of JSC «NK» CASAVTOZHOL «at the intersections of the REPUB-Likan Roads with railways and entrance groups of cities of republican and regional significance (letter of JSC»

KA-ZAVTOZHOL «03-14-2-325-and dated 08.02. 2019 with applications in response to the letter of Gold Product LLP № 1 dated 08.01.2019).

9. On the approval of the rules and conditions of the class, the list, names and index of road roads of general use of international and republican significance, including the list of road roads of defense use. Order of the acting Minister for Investments and Development of the Republic of Kazakhstan dated March 26, 2015 No. 315. Registered in the Ministry of South Council of the Republic of Kazakhstan on June 19, 2015 No. 11402. (in Russian).

10. TsP-483 «Instructions for the operation of railway crossings by the Ministry of Railways of Russia». It is applied on the territory of the Republic

of Kazakhstan on the basis of an order of the Minister of Transport and Communications of the Republic of Kazakhstan dated July 20, 1994 № 97 by agreement with the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan. (in Russian).

11. Analysis of the conditions for the placement on the roads and the characteristics of the railway crossings of the Republic of Kazakhstan / D. V. Kapsky [et al.] // Science and technology. 2021. T. 20. No. 3. P. 224–233. (in Russian).

12. The state of safety of road traffic on the roads of the Republic of Kazakhstan / D. V. Kapsky [et al.] // Far East: Problems of the development of the architectural and construction complex. 2021. – №. 1. – P. 103–120. (in Russian).

ЖИЛЕВИЧ М. И., канд. техн. наук, доц.,
зав. каф. «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»
E-mail: gra_atf@bntu.by

ЕРМИЛОВ С. В.,
ст. преп.
E-mail: gra_atf@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 30.09.2022

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ МАКЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Антиблокировочная система (АБС) является обязательной опцией практически всего спектра автотранспортных средств. Гидравлические АБС устанавливаются, как правило, на легковых и грузовых автомобилях небольшой грузоподъемности. Модулятор является основным исполнительным элементом АБС, регулирующим давление в тормозной системе. Независимо от алгоритма работы модулятора, на начальной фазе экстренного торможения до включения циклического режима через него проходит наибольший расход жидкости.

Конструктивные размеры исполнительных гидроцилиндров тормозной системы карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности обуславливают большие расходы рабочей жидкости и, как следствие, большие габариты золотниковых пар модуляторов АБС, что ограничивает применение клапанов с прямым электромагнитным управлением по причине ограниченной величины развиваемого ими усилия и быстродействия, связанного с инерционностью золотников.

В процессе решения задачи по созданию модулятора АБС для карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности разработана новая подтвержденная патентом на изобретение схема, позволяющая обеспечить необходимое быстродействие привода на основе использования клапанов управления с минимизированными размерами путем подключения дополнительного потока рабочей жидкости на начальной фазе экстренного торможения.

Изготовлен макетный образец модулятора. Разработаны схема испытательного стенда и методика проведения испытаний макета модулятора АБС, изготовлен стенд для исследования расходно-перепадных характеристик модулятора.

Проведены экспериментальные исследования макета модулятора, получены расходно-перепадные характеристики, позволившие подтвердить его работоспособность и проанализировать пропускную способность золотниковой пары фазы торможения с заведомо меньшими конструктивными размерами с использованием схемы модулятора со вспомогательным клапаном в соответствии с патентом и без вспомогательного клапана.

Ключевые слова: антиблокировочная система, гидропривод, испытания, макет, методика, модулятор, карьерный самосвал особо большой грузоподъемности, тормозная система, расходно-перепадная характеристика, стенд.

Введение

Антиблокировочная система (АБС) предназначена для обеспечения минимального тормозного пути с сохранением устойчивого и управляемого движения при процессе торможения автотранспортного средства. В настоящее время АБС являются обязательной опцией

практически всего спектра автотранспортных средств. Наибольшее применение они получили в тормозных системах с пневматическим приводом. Гидравлические АБС устанавливаются, как правило, на легковых и грузовых автомобилях небольшой грузоподъемности. Установка АБС на карьерные самосвалы

расходно-перепадных характеристик на макете модулятора 3 с использованием вспомогательного клапана 6 (см. рисунок 1) и без него.

Перед включением стенда и проведением испытаний необходимо разгрузить стенд максимально ослабив регулировочную пружину предохранительного клапана 5. Распределитель 2 должен быть установлен в среднюю позицию. Гидрораспределитель 4 отключения вспомогательного клапана должен быть закрыт (левая по схеме позиция).

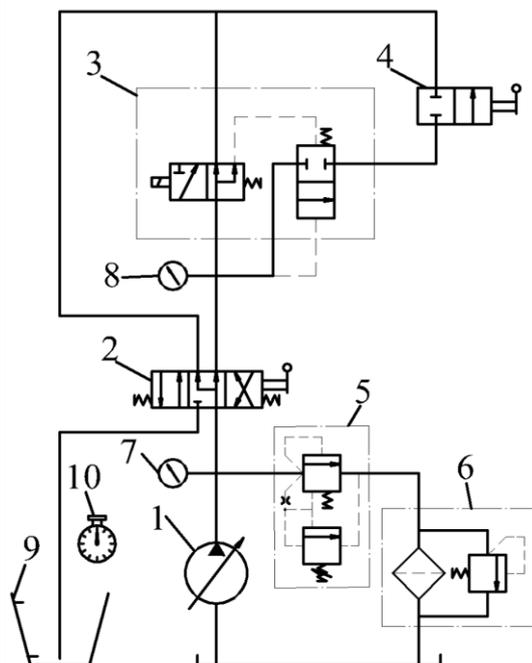


Рисунок 2 – Принципиальная гидравлическая схема стенда

1 – насос; 2 – распределитель; 3 – макет модулятора; 4 – гидрораспределитель отключения вспомогательного клапана; 5 – предохранительный клапан; 6 – сливной фильтр; 7, 8 – датчики давления; 9 – мерный бак; 10 – секундомер

После включения стенда регулировочным винтом аксиально-поршневого регулируемого насоса 1 устанавливается максимальная подача в системе. Регулировочным винтом предохранительного клапана 5 устанавливается требуемое давление, величина которого контролируется по показаниям датчика давления 7.

Определение перепада давления на модуляторе при текущем расходе жидкости осуществляется следующим образом.

Золотник распределителя 2 перемещался в левую по схеме позицию. Фиксировались показания датчика давления 8, установленного на входе в макет модулятора АБС. Время заполнения заданного объема мерной емкости 9 контролировалось секундомером 10. Включение

секундомера происходило в момент достижения уровнем жидкости минимальной отметки на смотровом окне мерной емкости 9, а выключение – на максимальной отметке.

После заполнения мерной емкости 9 золотник распределителя поз. 2 переводился в нейтральное положение, а мерная емкость опорожнялась.

Испытания проводились для двух положений гидрораспределителя 4 отключения вспомогательного клапана при нескольких позициях регулировочного винта аксиально-поршневого насоса 1, обеспечивающих различный расход рабочей жидкости через макет модулятора 3.

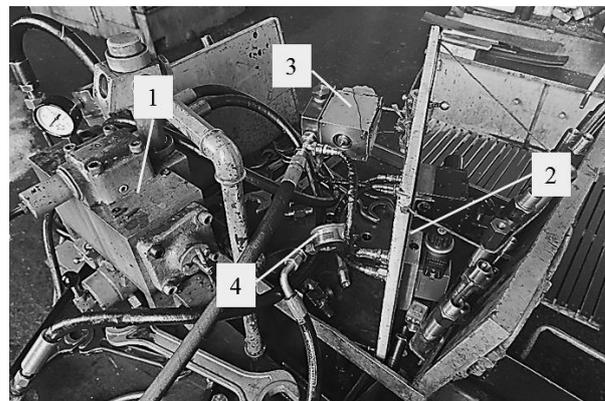


Рисунок 3 – Общий вид стенда:

1 – распределитель; 2 – макет модулятора; 3 – гидрораспределитель отключения вспомогательного клапана; 4 – датчик давления

Результаты испытаний

Для предложенного схемного решения на основании формулы Торричелли [6] была разработана математическая модель для исследования зависимости перепада давления на модуляторе от расхода жидкости в системе и от габаритных размеров рабочего окна вспомогательного клапана на начальной фазе экстренного торможения [4, 5]:

$$\Delta p = \frac{2}{\rho} \cdot \left(\frac{1}{\mu_1 \cdot \pi \cdot d_{\text{зол1}} \cdot x_1 + \mu_3 \cdot \pi \cdot d_{\text{зол3}} \cdot x_3} \right)^2 \cdot Q^2,$$

где Δp – перепад давления на модуляторе; Q – расход жидкости через модулятор; ρ – плотность рабочей жидкости; $\mu_{\text{осн}}$, $d_{\text{осн}}$, $x_{\text{осн}}$ – соответственно коэффициент расхода, диаметр золотника и величина рабочего окна основного впускного клапана; $\mu_{\text{всп}}$, $d_{\text{всп}}$, $x_{\text{всп}}$ – соответственно коэффициент расхода, диаметр золотника и величина рабочего окна вспомогательного клапана.

Получено семейство графиков зависимости потерь давления на модуляторе от расхода жидкости в системе и от габаритных размеров рабочего окна вспомогательного клапана.

Результаты исследований представлены на рисунок 4. Сплошной линией показаны графики, отражающие изменение перепада давления от расхода для включенной (сплошная линия I) и отключенной вспомогательной линии

модулятора АБС (сплошная линия II), построенные по данным, полученным в ходе проведения эксперимента. Штриховыми линиями изображены расчетные характеристики, отражающие влияние расхода рабочей жидкости, протекающей через гидравлический модулятор АБС на величину перепада давления в нем.

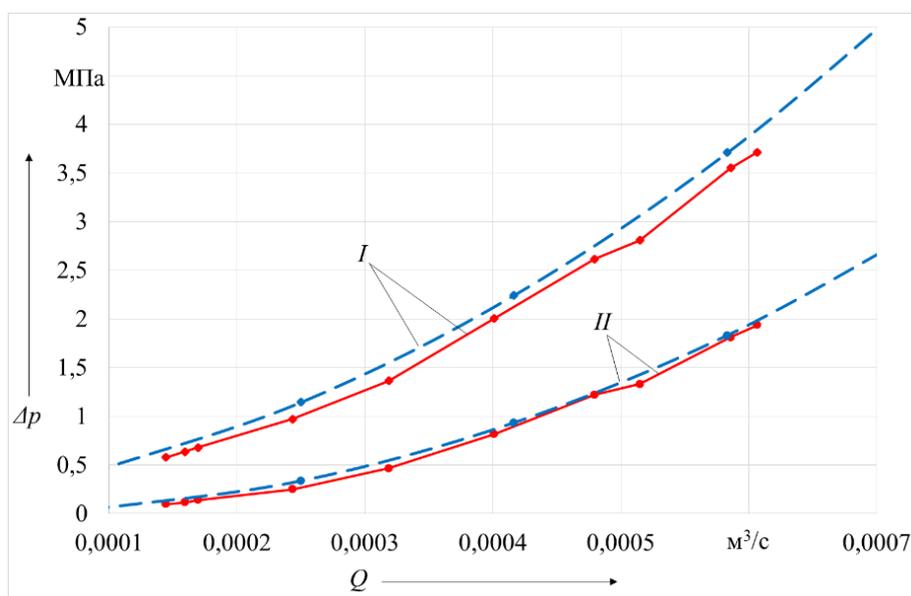


Рисунок 4 – Экспериментальные и расчетные расходно-перепадные характеристики гидравлического модулятора АБС

Параметры окон основного клапана $d_{\text{осн}} \cdot x_{\text{осн}} = 8,0 \text{ мм} \cdot 0,5 \text{ мм}$, вспомогательного – $d_{\text{всп}} \cdot x_{\text{всп}} = 10,0 \text{ мм} \cdot 1,0 \text{ мм}$, где d и x – соответственно диаметр и смещение запорного элемента.

Результаты эксперимента показывают уменьшение перепада давления (от 0,48 МПа до 1,78 МПа) на гидравлическом модуляторе антиблокировочной системы автомобиля особо большой грузоподъемности во всем диапазоне изменения расхода рабочей жидкости (от 0,00014 м³/с до 0,00061 м³/с) после смещения запорного элемента клапана отключения вспомогательной линии влево по схеме, что подтверждает работоспособность предложенного схемного решения.

Полученные характеристики подтверждают работоспособность предложенного схемного решения модулятора АБС для автомобилей особо большой грузоподъемности и эффективность вспомогательного клапана на начальной стадии экстренного торможения по критерию потерь давления на модуляторе. Расхождение экспериментальной и теоретической зависимостей – в пределах 6 %.

Выводы

1. На основе подтвержденной патентом на изобретение [2] схемы гидравлического модулятора для тормозной системы транспортного средства разработан и изготовлен макетный образец модулятора АБС для карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности.

2. Разработаны схема испытательного стенда и методика проведения испытаний макета модулятора АБС, изготовлен стенд для исследования расходно-перепадных характеристик модулятора.

3. Проведены экспериментальные исследования макета модулятора, получены расходно-перепадные характеристики, позволившие проанализировать пропускную способность золотниковой пары фазы торможения с заведомо меньшими (по сравнению с расчетными) конструктивными размерами с использованием схемы модулятора со вспомогательным клапаном в соответствии с патентом [2] и без вспомогательного клапана.

4. Результаты эксперимента показали уменьшение перепада давления на модуляторе в диапазоне от 0,48 МПа до 1,78 МПа с включенным вспомогательным клапаном, в сравнении со схемой с отключенным вспомогательным

клапаном, в диапазоне изменения расхода рабочей жидкости от 0,00014 м³/с до 0,00061 м³/с, причем отклонение полученных характеристик от расчетных составило около 6 %.

Литература

1. Модулятор гидравлического тормозного привода с большим расходом рабочей жидкости / М. И. Жилевич [и др.] // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета : сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т ; редкол.: В. А. Богомолов (глав. ред.) [и др.] – Харьков : ХНАДУ, 2016. – Вып. 75. – С. 83–88

2. Кишкевич, П. Н. Статический и динамический расчет гидро- и пневмораспределителей : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / П. Н. Кишкевич, М. И. Жилевич, П. Р. Бартош ; БНТУ, каф. «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод». – Минск : БНТУ, 2012. – 79 с.

3. Гидравлический модулятор для тормозной системы транспортного средства : пат ВУ 19812 С1 / М. И. Жилевич, С. . Ермилов. – Опубл. 28.02. 2016.

4. Zhilevich, M., etc. Method of calculating the design parameters of a modulator anti-lock braking system with a high flow of working fluid./ M. Zhilevich [et al.] // Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport / ed.

P. Czech (editor-in-chief) [et al.]. – The Publishing House of the Silesian University of Technology, 2021. – Vol. 110. – P. 199–210.

5. Ермилов С. В. Расчетные исследования и анализ расходно-перепадных характеристик модулятора гидравлической антиблокировочной системы для автомобилей особо большой грузоподъемности / С. В. Ермилов, М. И. Жилевич // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Машиностроение – Брест: БГТУ, 2020. – № 122/4 – С. 40–43.

6. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта [и др.]. – 4-е изд., стереотипное, перепечатка со второго издания 1982 г. – М: Издательский дом Альянс, 2010. – 423 с.

7. Желтовский, Б. Ю. Исследование и испытание гидропневмосистем машин: учебно-методическое пособие для вузов / Б. Ю. Жолтовский, М. Г. Халамонский, В. С. Шевченко. – Мн. : Технопринт, 2004. – 204 с.

8. Васильченко, В. А. Гидравлическое оборудование мобильных машин : справочник / В. А. Васильченко. – Москва: Машиностроение, 1983. – 301 с.

9. Свешников, В. К. Станочные гидроприводы : справочник / В. К. Свешников. – 6-е изд. перераб. и доп. – СПб. : Политехник, 2015. – 627 с.

UDC 629.114

ZHYLEVICH Michael I., Ph.D. in Eng., Ass. prof.,
head of the department «Hydropneumautomatics and hydropneumoprivod»
E-mail: gpa_atf@bntu.by

YERMILOV Sergei V.,
senior lecturer
E-mail: gpa_atf@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 30 September 2022

METHODOLOGY AND RESULTS OF BENCH TESTS OF THE LAYOUT OF THE HYDRAULIC MODULATOR OF THE VEHICLE BRAKE SYSTEM

The anti-lock system (ABS) is a mandatory option for practically the entire range of vehicles. Hydraulic ABS are installed, as a rule, on light-duty cars and trucks. The modulator is the main executive element of the ABS that regulates the pressure in the brake system. Regardless of the mode of operation of the modulator, at the initial phase of emergency braking, before switching on the cyclic mode, the greatest fluid flow passes through it.

The design dimensions of the executive hydraulic cylinders of the braking system of especially heavy-duty dump trucks cause high working fluid consumption and, as a result, large dimensions of the spool pairs of ABS modulators, which limits the use of valves with direct electromagnetic control due to the limited magnitude of the force they develop and the speed associated with the inertia of the spool.

In the process of solving the problem of creating an ABS modulator for especially heavy-duty dump trucks, a new scheme has been developed, confirmed by a patent for the invention, which allows for the necessary speed of the drive based on the use of control valves with minimized dimensions by connecting an additional flow of working fluid at the initial phase of emergency braking.

A mock-up sample of the modulator was made. The scheme of the test stand and the methodology for testing the ABS modulator layout have been developed, a stand has been made to study the flow-differential characteristics of the modulator.

Experimental studies of the modulator layout were carried out, the flow-drop characteristics were obtained, which made it possible to confirm its operability and analyze the throughput of the golden pair of the braking phase with obviously smaller design dimensions using the modulator circuit with an auxiliary valve in accordance with the patent and without an auxiliary valve.

Keywords: *anti-blocking system, hydraulic drive, tests, model, methodology, modulator, mining dump truck with extra heavy payload, braking system, flow rate-difference characteristic, stand.*

References

1. Modulator of hydraulic brake drive with high flow of working fluid / M. I. Zhilevich, [et al.] // Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University : collection of scientific tr. / Kharkiv. national. auto.-dor. un-t ; ed. : V. A. Bogomolov (editor-in-chief) [et al.] – Kharkiv: KHNADU, 2016. – Iss. 75. – P. 83–88. (in Russian).

2. Kishkevich, P. N. Static and dynamic calculation of hydraulic and pneumatic distributors: an educational and methodical manual for students of specialty 1-36 01 07 «Hydraulic and pneumatic systems of mobile and technological machines» / P. N. Kishkevich, M. I. Zhilevich, P. R. Bartosh ; Belarusian National Technical University, Department of «Hydropneumatics and hydropneumo-drive». – Minsk : BNTU, 2012. – 79 p. (in Russian).

3. Hydraulic modulator for the motor vehicle system : pat BY 19812 C1 / M. I. Zhilevich, S. V. Ermilov. – Publ. 28.02. 2016. (in Russian).

4. Zhilevich, M., etc. Method of calculating the design parameters of a modulator anti-lock braking system with a high flow of working fluid. / M. Zhilevich [et al.] // Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport / ed. P. Czech (editor-in-chief) [et al.] – The Publishing

House of the Silesian University of Technology 2021. – Vol. 110. – P. 199-210.

5. Ermilov, S. V. Computational studies and analysis of the flow-drop characteristics of the modulator of the hydraulic anti-block system for heavy-duty vehicles / S. V. Ermilov, M. I. Zhilevich // Bulletin of the Brest State Technical University. Series: Mechanical Engineering – Brest, BSTU 2020. – № 122/4 – P. 40–43. (in Russian).

6. Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic water : textbook for engineering universities / T. M. Bashta [et al.]. – 4th ed., stereotypical, reprint from the second edition of 1982 – M: Publishing house Alliance, 2010 – 423 p. (in Russian).

7. Zholtovsky, B. Yu. Research and testing of hydropneumosystems of machines: textbook-methodical manual for universities / B. Yu. Zheltovsky, M. G. Khalamonsky, B. C. Shevchenko. – Mn.: Technoprint, 2004. – 204 p. (in Russian)

8. Vasilchenko, V. A. Hydraulic equipment of mobile machines: reference / V. A. Vasilchenko. – M.: Mashinostroenie, 1983. – 301 p. : ill. (in Russian).

9. Sveshnikov, V. K. Machine hydraulic drives: Handbook / V. K. Sveshnikov. – 6th ed. reprint. and additional. – St. Petersburg : Polytechnic, 2015. – 627 p.. (in Russian).

MEDVEDEV M. Yu., D. Sc. in Eng., As. Prof.,
Professor
E-mail: medvmihal@sfedu.ru

FARHOOD A. K.,
Ph.D. student
E-mail: eim@sfedu.ru

Southern Federal University, Taganrog, Russia

Received 14 May 2022

THE STUDY NUMERICAL TO DETECT COLLISIONS USING NEURAL NETWORK WITH D* ALGORITHM

A numerical study of the proposed iterative algorithm using the Matlab complex is carried out. During the study, the task of teaching a neural network to plan a route was solved in the same way as the "teacher" algorithm, for which D was chosen. The initial filtering option is selected in such a way that, when a collision occurs, a trajectory point that preceded the collision is fed into the filtered sample, i.e., in which the neural network incorrectly classified the situation. This method of filtering was not effective, because the wrong decision that led to the collision could have been made not immediately before the collision, but earlier. In this regard, the procedure for filtering examples for training has been modified so that when a collision occurs, maps with the robot's position at all points of its trajectory are added to the training sample. This allows you to significantly increase the success of achieving the goal.*

Key words: the robot, path planning, the neural network, the Matlab complex.

Introduction

It is known that a robot is an automatically operating machine that can perform some tasks that are performed by a human. The mobile robot is specifically designed for use in environments such as automated assembly halls, factories, or warehouses [1]. A distinctive feature of robots is the presence of a planning system, which today can also use neural networks with deep learning. Deep learning networks are widely used in text [2] and object recognition [3], navigation [4], scene understanding [5], and using the studied patterns in other domains [6]. Promising areas for the development of neural network systems are research related to deep learning and self-learning technologies with reinforcement and use of knowledge bases and programs of inferential learning, a posteriori learning. In automatic control systems, neural networks are used as adaptive controllers, identifiers, and trajectory planners. The stability and training of neural networks are exceptional and the most important thing in these systems. The article [7] presents an algorithm for training dynamic recurrent neural networks by Elman based on the optimization of particles in a swarm. He has developed a new control method in

which a dynamic identifier allows you to identify the rotation frequency of an ultrasonic motor. The mobile system has the implemented ability to move forward or backward the desired distance, but the movement is inherently uncertain. Therefore, a neural network algorithm is used to plan the trajectory in uncertain 2D-environments. As a result of comparative analysis, the high efficiency of neural network in solving motion trajectory planning problems was shown [8]. In the article [9], a neural network is proposed for identifying the inverse dynamics of a discrete object. This allows it to provide predictive properties to the control system. In this study, we use convolution of 2D-layers of neural networks to tackle various complicated problems while the machine itself tries to explore the problem when it has enough data. The main challenge in this work was that the neural network (NN) controller had no memory of past actions and the state of the world in the past, so no collisions were detected. The architecture develops the solutions to this challenge.

Problem statement

We consider a mobile robot in a 2D-environment. The mathematical model of a mobile robot is described as follows [10, 11].

$$\dot{y}_i(t) = R(y_i) \cdot x_i;$$

$$M_i \cdot \dot{x}_i(t) = B_i \cdot u_i + F_{di},$$

when $y_i = [y_{1i} \ y_{2i} \ y_{3i}]^T$ is the vector of the position (y_{1i}, y_{2i}) and orientation (y_{3i}) of the mobile robot in a fixed coordinate system, $O_g Y_{g1} Y_{g2}$ (figure 1), $x_i = [x_{1i} \ x_{2i} \ x_{3i}]^T$ is the vector of linear (x_{1i}, x_{2i}) and angular (x_{3i}) velocities of the mobile robot in a moving coordinate system, $OY_1 Y_2$, $R(y_i)$ is the kinematics matrix, M_i is the inertia matrix, F_{di} is the vector of dynamic forces, u_i is the vector of control actions, B_i is the input matrix.

The robot's navigation system measures vectors y_i and x_i

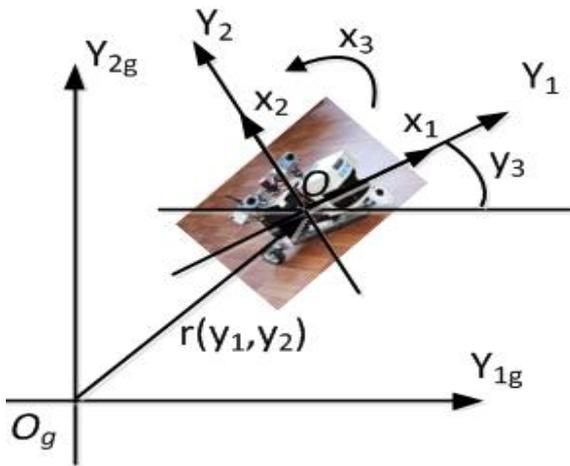


Figure 1 – The coordinate system of the mobile robot

The modelling environment we used in this experiment is a discrete map with 50x50 square cells, as we can see in figure 2.

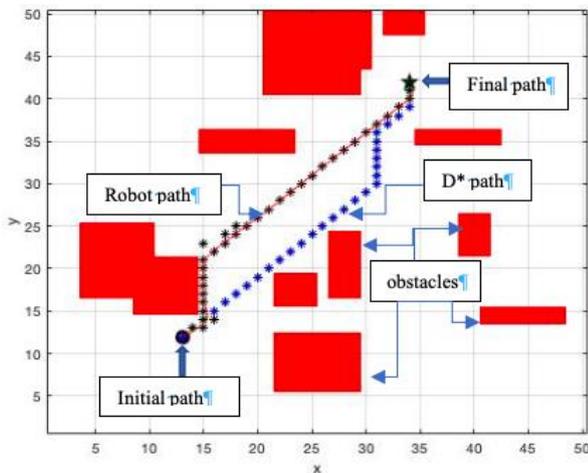


Figure 2 – The environment of learning robot

The environment contains up to 12 randomly placed obstacles. The initial position of the robot is indicated by a blue circle and the final position is indicated by a blue star. The path determined by the D* algorithm (the shortest path algorithm) is represented by a blue dotted line, and the obstacles are indicated by red squares. In this paper, the D* algorithm is used as a teacher that enables a mobile robot to learn independently of its own experience. The mathematical model of a mobile robot represented by equations (1) and (2) is considered. The results of modelling the robot (1) and (2) are used together with the trained network to update the neural network parameters for trajectory planning. The input of the neural block is a map of the environment and the trajectory developed by D* algorithms.

The situation is divided into nine classes by the D* algorithm. When planning with D*, the path passes through the cell numbered $N = 1, 2, \dots, 8$ (figure 3), so the state class equals N . If there is no path from the current position to the robot's destination, then the state class is 9.

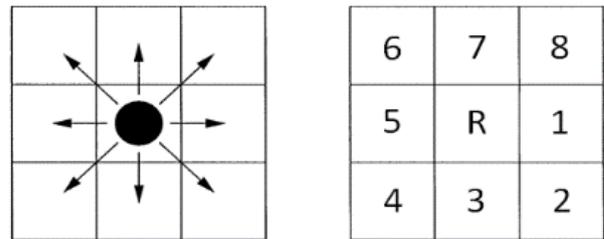


Figure 3 – Classification of cells adjacent to the robot

The task of a neural network is to lay a path and avoid collisions. The solution to this problem is divided into two stages. The first stage is basic training, which is performed by a D* supervisor. The second stage is the final training, which is performed by the reinforcement learning method. Development of the training procedure. The study of the algorithm for the development of the NN training. During the research, five iterations of training were carried out, the results of which are shown in Table and figure 4.

Table 1 – The iterative training of a neural network

Iteration	Sample size	Accuracy rating, %	Frequency of successful achievement, %
1	1000	67	
2	2000	Filtered	42
		unfiltered	51
3	3000	Filtered	51
		unfiltered	53
4	4000	Filtered	45
		unfiltered	56
5	5000	Filtered	59
		unfiltered	53

A 2D convolutional network is defined for an image of size $h \times w \times 3$, where 3 is the number of channels for an RGB image. A convolutional neural network contains convolutional layers and auxiliary layers that terminate in fully connected layers. In the first iteration, a sample of 1000 images were created. This sample is used to train a network consisting of an input layer, five hidden convolutional layers, three hidden fully connected layers, and an output layer. The first convolutional layer contains 32 filters with a size of $[3 \times 3]$ and a step of 2. The second and third layers are also convolutional layers with 64 filters of size $[3 \times 3]$ and step 2. The fourth and fifth convolutional layers with 128 filters of size $[3 \times 3]$. Three fully connected layers with 32, 16, and 8 neurons, respectively, were also used. All hidden layers use the ReLU activation function, which provides the fastest learning. The training options [12] include the sgd solver used, the maximum number of epochs maxEpochs and the minimum size minibatchSize. The optimal settings were selected from the existing literature [13]. The specified network is trained with the first sample. Then the trained network is used to further increase the training sample. The motion of the robot was simulated using a trained neural network. If the robot allows a collision at any point, then such a map is added to the training sample. Otherwise, the situation is not included in the training sample. From the figure 4 shown the filtering procedure extends the training sample to 5000 images. At the same time, the training

achieved an accuracy of 68 % for the sample with filtering and 84 % for the sample without filtering. However, the simulation showed that the success rate in reaching the target was 59 % for the filtered sample and 53 % for the normal sample. Filtering efficiency can be greatly improved by including the entire trajectory in the selection, rather than just the point at which the collision occurred. This can not only increase the efficiency in reaching the set target, but also improve the evaluation of accuracy during training. The results of neural network training are shown in Figures below.

Conclusion

We present the preliminary results of the work of a convolutional 2D neural network (N 1), trained without any pre-training So you can train a mobile robot to avoid obstacles. By using specially filtered images, you can correct any errors. The training was performed on a low-power laptop (MacBook Air) with a GPU.

Since the neural network only selects the direction and speed of the movement, it works faster than the D* algorithm, which builds the entire path. Moreover, the time for solving a problem is fixed by a neural network. IN the future, it is planned to develop the work by changing the filtering procedure (adding the entire trajectory to the training sample), increasing the size of the robot and the target point to improve the quality of the convolutional network, and planning a section of the trajectory by using an approximating neural network.

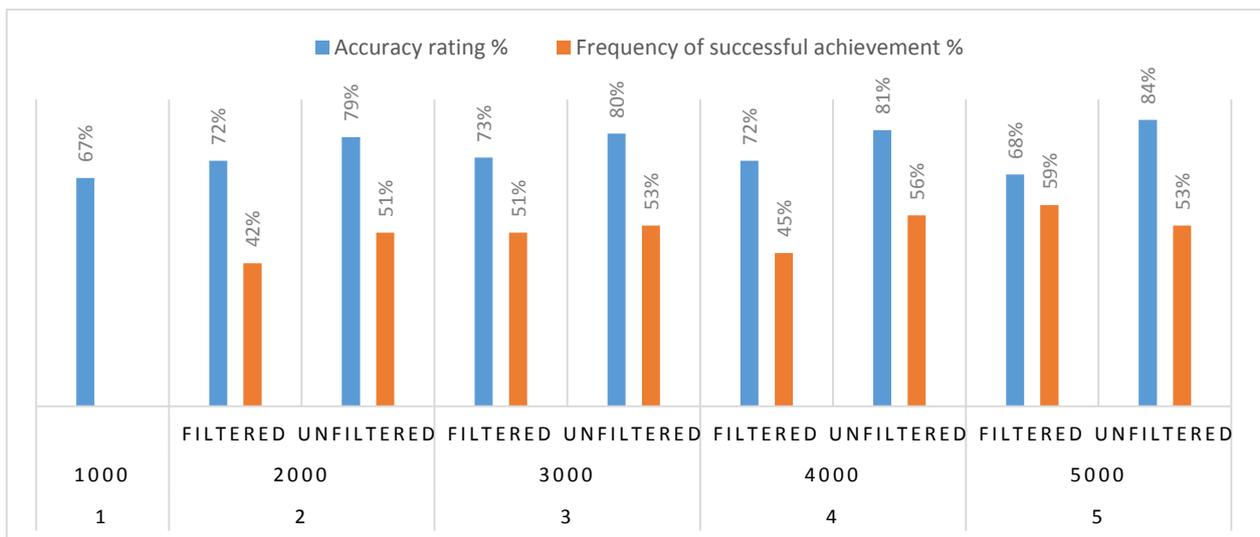


Figure 4 – A numerical study of the proposed iterative algorithm

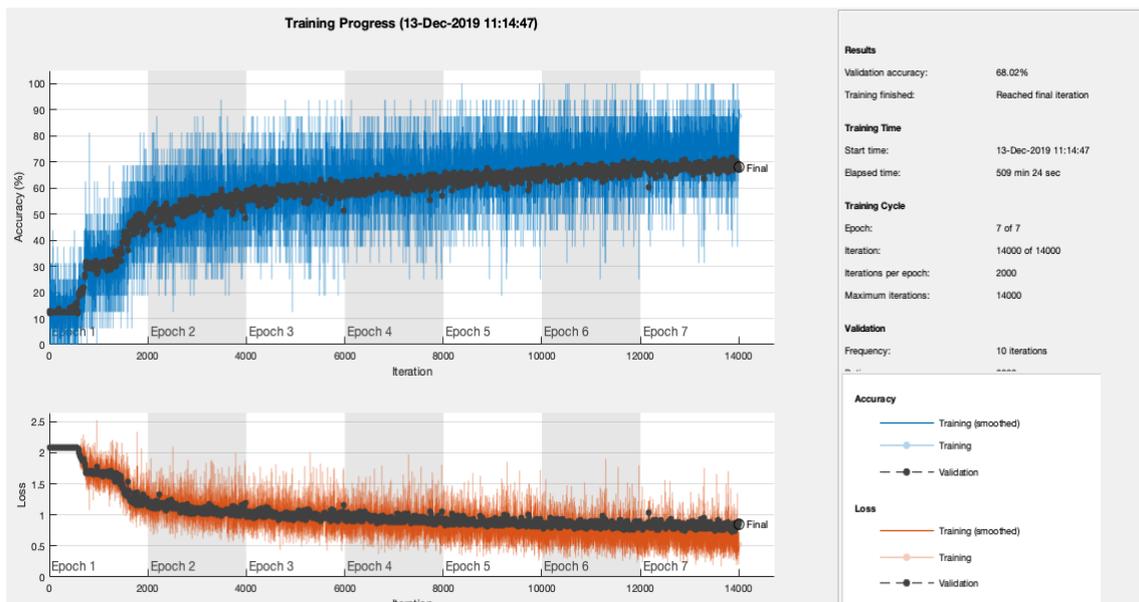


Figure 5 – Training NN with the filtering

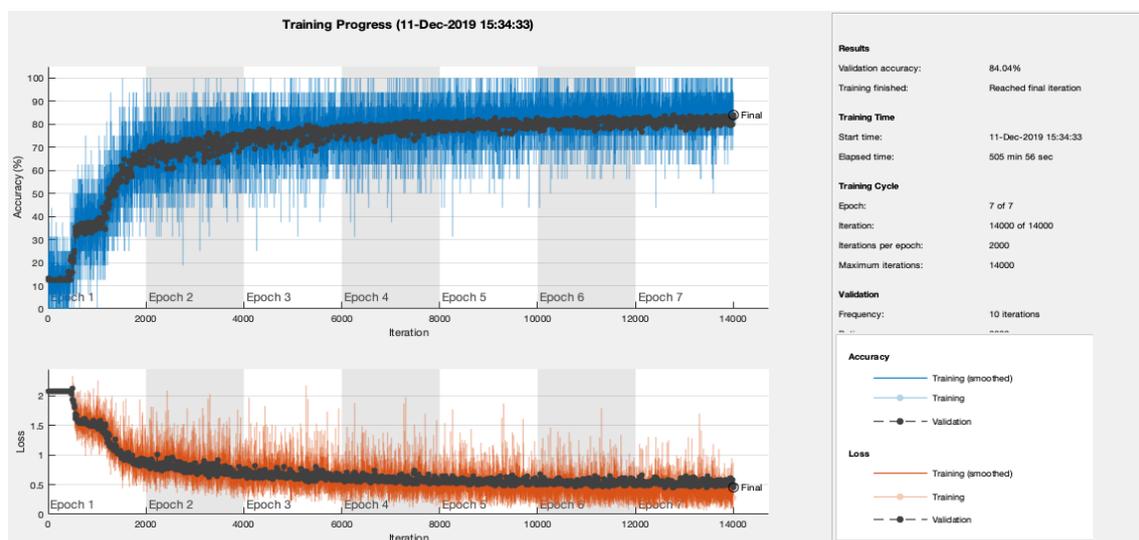


Figure 6 – Training NN without the filtering

References

1. Sandip, K. S. Data – Enhanced Convolution Network for Wall Following Navigation, 2019, IJEAT.
2. Kim, Y. Convolutional Neural Networks for Sentence Classification. Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP 2014), (2014). P. 1746–1751.
3. Angelova, A., Krizhevsky A., Vanhoucke V. Pedestrian detection with a Large-Field-Of-View deep network. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2015.
4. Engel, J., Schöps T., Cremers D. LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM. Lecture Notes in Computer Science, 2014. Vol. 8690.
5. Zhu, J., Park T., Phillip Isola, and Alexei A. Efros. «Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks», in

IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017.

6. Gholami, B., Rudovic O., Pavlovic V. Probabilistic Unsupervised Domain Adaptation for Knowledge Transfer Across Visual Categories. The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017, Pp. 3581-3590.

7. Hong-Wei G., Wen-Li D., Feng Q., Lu W. A Dissimilation Particle Swarm Optimization- Based Elman Network and Applications for Identifying and Controlling Ultrasonic Motors. Advances in Soft Computing. 2007. Vol. 41. – P. 1345–1360. Springer.

8. Guzik, V., Pereverzev V., Pyavchenko A., Saprykin R., Pshikhopov, V. NeuralNetworking Path Planning Based on Neural-Like Structures. Path Planning for Vehicles Operating in Uncertain 2D Environments, 2017. Elsevier, Butterworth Heinemann. – P. 25–96.

9. Notkin, B. Neural network identification of the inverse dynamics of an object for design of predictive control system. In Proc. of the 4th International conference SICPRO'05. 2005. Moscow.

10. Pshikhopov, V., Medvedev, M. Position-Path Control of a Vehicle // Path Planning for Vehicles Operating in Uncertain 2D Environments. Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2017. P. 1–23.

11. Pshikhopov, V., Medvedev, M. Multi-Loop Adaptive Control of Mobile Objects in Solving Trajectory Tracking Tasks. Automation and Remote Control V. 81, no 11, P. 2078–2093 (2020).

12. <https://ch.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainingoptions.html>.

13. V. Nair, G.E. Hinton, «Rectified Linear Units Improve Restricted Boltzmann Machines». – Proc. of the ICML, 2010.

УДК 629.114. 2

МЕДВЕДЕВ Михаил Ю., д-р техн. наук, доц.,
профессор кафедры электротехники и мехатроники
E-mail: medvmihal@sfedu.ru

ФАРХУД А. К.,
аспирант
E-mail: eim@sfedu.ru

Южный федеральный университет, г. Таганрог, Россия

Поступила в редакцию 14.05.2022.

Проведено численное исследование предложенного итерационного алгоритма с использованием комплекса Matlab. В ходе исследования решалась задача обучения нейронной сети планировать маршрут таким же образом, что и алгоритм «учителя», в качестве которого выбран D^ . Начальный вариант фильтрации выбран таким образом, при возникновении коллизии в фильтруемую выборку подается точка траектории, которая предшествовала коллизии, т. е. в которой нейронная сеть неправильно классифицировала ситуацию. Такой способ фильтрации оказался не эффективным, т. к. неверное решение, которое привело к коллизии, могло быть принято не непосредственно перед коллизией, а ранее. В этой связи процедура фильтрации примеров для обучения была модифицирована таким образом, чтобы при возникновении коллизии в обучающую выборку добавлялись карты с положением робота во всех точках его траектории. Это позволяет существенно повысить успешность достижения цели.*

Ключевые слова: робот, планирование траекторий, нейронная сеть, комплекса Matlab.

Литература

1. Сандип, К. С. Сверточная нейронная сеть с улучшенными данными для навигации / К. С. Сандип, 2019, ИЕАТ.

2. Ким, Ю. Сверточные нейронные сети для классификации предложений / Ю. Ким // Материалы конференции 2014 года по эмпирическим методам обработки естественного языка (EMNLP 2014), (2014). С. 1746–1751.

3. Ангелова, А. Обнаружение пешеходов с помощью глубокой сети с большим полем обзора / А. Ангелова, А. Крижевский, В. Ванхоукке // Международная конференция IEEE по робототехнике и автоматизации. 2015.

4. Энгель, Дж. ЛСД-СЛЭМ: крупномасштабный прямой монокулярный СЛЭМ : конспекты лекций по информатике / Дж. Энгель, Т. Шепс, Д. Кремерс, 2014. – Т. 8690.

5. Чжу, Дж. Непарный перевод изображения в изображение с использованием циклически согласованных связательных сетей / Дж. Чжу [и др.] // Международная конференция IEEE по компьютерному зрению (ICCV), 2017.

6. Голами, Б. Вероятностная адаптация предметной области без присмотра для передачи знаний по визуальным категориям / Б. Голами, О. Рудович, В. Павлович В. // Международная

конференция IEEE по компьютерной безопасности (ICCV), 2017. – С. 3581–3590.

7. Хун-Вэй, Г. Сеть Elman, основанная на оптимизации роя диссимиляционных частиц, и приложения для идентификации ультразвуковых двигателей и управления ими / Г. Хун-Вэй [и др.]. Достижения в области мягких вычислений. – 2007. – Т. 41. – С. 1345–1360.

8. Гузик, В. Планирование пути работы нейросети на основе нейроподобных структур. Планирование траектории движения транспортных средств, работающих в неопределенных 2D-условиях / В. Гузик [и др.]. Эльзевир, Баттерворт Хайнеманн, 2017. – С. 25–96.

9. Ноткин, Б. Нейросетевая идентификация нелинейного объекта для проектирования прогностической системы управления / Б. Ноткин // Материалы 4-й международной конференции SICPRO'05, Москва : 2005.

10. Пшихопов, В. Позиционно-траекторное управление транспортным средством / В. Пшихопов, М. Медведев // Планирование траектории для транспортных средств, работающих в неопределенных 2D-средах. Эльзевир, Баттерворт-Хайнеманн, 2017. – С. 1–23.

11. Пшихопов, В. Многоконтурное адаптивное управление подвижными объектами при решении задач траекторного слежения / В. Пшихопов, М. Медведев // Автоматизация и дистанционное управление. – Т. 81. – № 11. – С. 2078–2093 (2020).

12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ch.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainingoptions.html>. – Дата доступа: 20.03.2022.

13. Наир, В. Выпрямленные линейные блоки улучшают ограниченные машины Больцмана / В. Наир, Г. Э. Хинтон. Изд-во ICML, 2010.

МИРЗАЕВ К. С.,
преподаватель¹
E-mail: k.s.mirzayev@gmail.com

ОДИЛОВ Ф. У.,
преподаватель²
E-mail: odilovfurqat1117@gmail.com

¹Андижанский машиностроительный институт, г. Андижан, Узбекистан

²Андижанский институт экономики и строительства, г. Андижан, Узбекистан

Поступила в редакцию 15.05.2022

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Детали, используемые в производстве, подвергаются различным механическим нагрузкам. Если свойства детали не соответствуют этой нагрузке, срок службы детали не будут соответствовать уровню спроса или экономическим показателям. Ряд научно-исследовательских институтов и исследовательских лабораторий по всему миру проводят исследовательские мероприятия направленные на снижение себестоимости деталей и увеличение срока их службы. В частности, узбекские ученые проводят исследования по повышению коррозионной стойкости абразивных поверхностей. Детали дробилок СЕМСО и ВАРМАК из белого чугуна на Навоийском машиностроительном заводе Навоийского горно-металлургического комбината используются в условиях повышенного трения. В статье представлены результаты научно-исследовательских работ по разработке методов повышения коррозионной стойкости рабочих поверхностей этих деталей. В результате исследований разработаны методики и рекомендации по увеличению срока службы деталей на основе повышения износостойкости литых изделий на машиностроительном заводе ГП «Навоийский ГМК».

Ключевые слова: *ожижение, печь, обработка, коррозионная стойкость, шихта, сплав, белый чугун, температура, структура*

Введение

Узбекскими и зарубежными производителями для производства износостойкой по структуре (составом), физико-механическими свойствами, белого чугуна устойчивой структурой – наряду со сжижением и обогащением шихты легированными по химическому составу сплавами, совершенствуется технологии формования, а также отработка режимов кристаллизации металла в кристаллизаторе, и внепечной обработки жидкого металла.

Вместе с тем, рассмотрим воздействие Cr, Ni и других легируемых элементов на сплавы. Легированный белый чугун обладает высокими эксплуатационными свойствами, из которого можно получать качественные отливки. В результате легирования чугуна различными легирующими элементами, в том числе и хромом,

его литейные свойства повышаются в зависимости от количества хрома. Кроме того, коррозионная стойкость легированного чугуна очень чувствительна к формированию его микроструктуры, а значит, для получения легированного белого чугуна требуется не только качество отливки, но и формирование структуры, обеспечивающий износостойкость белого чугуна.

Коррозионная стойкость чугуна обеспечивается карбидом, содержащим Cr 9,5–15 % (Cr, Fe) 7 C3, (Cr, Fe) 3 C или Cr 30 % (Cr, Fe) 23 C6. Это связано с тем, что этот карбид в 1,5–2,0 раза тверже карбида цементита. Другая сложность, связанная с этим, – легирование белых сплавов 3 % S с образованием карбидов в системе (Cr, Fe) 7 C3, (Cr, Fe) 3 C, (Cr, Fe) 23 C6. хром образует в пределах от 9,5 до 30%.

Белый чугун содержит кремний и силициды (FeSi , Fe_3SiO_2), помогает отделить углерод от графита. Поэтому содержание кремния в легированном белом чугуне, определяемое для получения качественных отливок, находится в пределах от 0,8 до 4,6 %.

В чугуне марганец повышает стабильность карбида железа (Fe_3C) и препятствует разложению углерода в виде графита. Это удаляет серу из чугуна из соединения FeS , превращает ее в шлак MnS и удаляет часть вредной серы из чугуна. Поэтому рекомендуется содержание марганца в легированном белом чугуне 0,5–1,5 % для получения качественных сплавов.

Кроме того, важным является повышение прочности легированных белых чугунов на основе термической обработки, так как термическая обработка позволяет изменять их механические свойства в широких пределах. Целью термической обработки сплавов является доведение их механических и физических свойств до необходимого уровня за счет изменения их внутренней структуры.

Термическая обработка сплавов показывает четыре основных фазовых превращения по диаграмме $G'e-G'e_3S$:

1) при нагреве сплава выше линии фазового перехода A_1 перлит распадается на аустенит:



2) при охлаждении аустенита до температуры ниже линии фазового перехода A_1 аустенит распадается на перлит:



3) при температурах ниже температуры метастабильного равновесия аустенит распадается на мартенсит:



4) при любой температуре мартенсит распадается на перлит:



Методы исследования

Для определения свойств и химического состава образцов использовали сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) Empyrean Malvern Panalytical и комплекс сканирующих электронных микроскопов Carl Zeiss EVO-MA-10.

К настоящему времени установлены причины выхода из строя роторов и запасных частей высокофрикционных роторов и насосов дробилок СЕМСО и ВАРМАК, работающих на основе центробежной силы при дроблении руды в производственных условиях НМЗ Навоийской ГМК изучены и проанализированы. Определен ряд предложений и задач по увеличению срока службы деталей за счет обеспечения прочности поверхностей, склонных к коррозии и растрескиванию при больших нагрузках.

Проведен анализ научно-исследовательских работ по коррозионностойким легированным сплавам на основе белого чугуна отечественных и зарубежных производителей, а также зарубежных научно-исследовательских учреждений и лабораторий по продлению срока службы литых деталей из коррозионностойких легированных белых чугунов.

С целью обеспечения прочности роторов насосов и дробилок при воздействии сильных напряжений, полученных из белого чугуна, химический состав шихты для производства легированного белого чугуна со стабильной конструкционной коррозионной стойкостью в массе основан на легирующих элементах достигнуто увеличение на 3–4 %. Предварительные результаты показывают, что исследования в этой области могут дать ожидаемые результаты.

С целью получения стабильного конструкционно-легированного белого чугуна в лаборатории Ташкентского государственного технического университета имени И. А. Каримова разработаны режимы извлечения жидкого металла в печи и кристаллизации в кристаллизаторе.

Для улучшения внутренней структуры, физико-механических свойств сплавов, полученных методом литья, применялись современные эффективные методы термической обработки.

Полученные результаты и их обсуждение

Литой коррозионностойкий легированный белый чугун в основном отливают из легированного белого чугуна для увеличения срока службы высокофрикционных тяжело нагруженных роторов запасных частей насосов и центробежных дробилок СЕМСО и ВАРМАК в целях производства, химический состав шихтового материала был обогащен легирующими элементами.

До и после термообработки образцов длину проекции геометрических расстояний в горизонтальной плоскости, т. е. расстояний между

соответствующими точками на плоской и горизонтально ориентированной поверхности объекта, определяли с помощью электронного микроскопа, сканирующего анализ изображений элементов. Поверхность объекта постоянно исследуется электронными лучами, часть изображения, формируемая микроскопом. Кроме того, каждая точка на поверхности объекта обозначается соответствующей точкой на изображении, формируемом в виде микроскопа. При взаимодействии электронных лучей с поверхностью объекта одновременно возникает несколько ответных сигналов. В зависимости от того, какой детектор сигнала был введен,

микроскопы давали одно или несколько четких изображений.

Сплав из белого чугуна 300X32H2M2ТЛ до термической обработки был изучен микроскопом $\times 100$ СЭМ Zeiss EVO MA (рисунок 1) и анализ элементов сканером электронного микроскопа (рисунок 2).

Сплав из белого чугуна 300X32H2M2ТЛ после термической обработки был изучен микроскопом $\times 100$ СЭМ Zeiss EVO MA (рисунок 3) и анализ элементов сканером электронного микроскопа (рисунок 4).

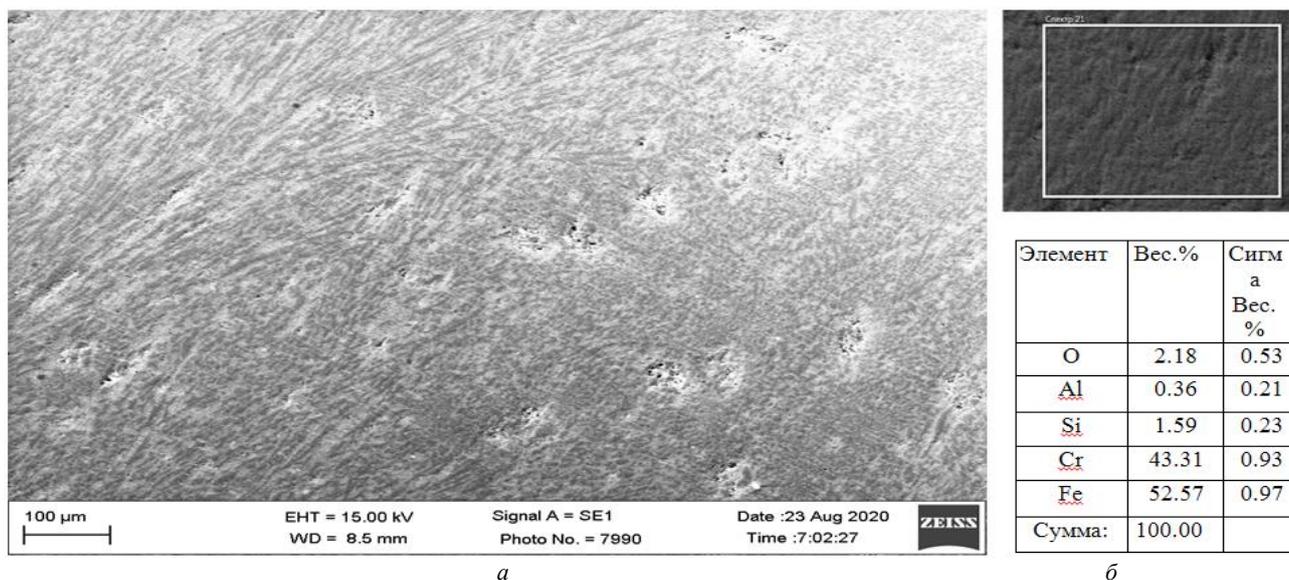


Рисунок 1 – Сплав из белого чугуна 300X32H2M2ТЛ до термической обработки:
а – структура; б – элементный анализ

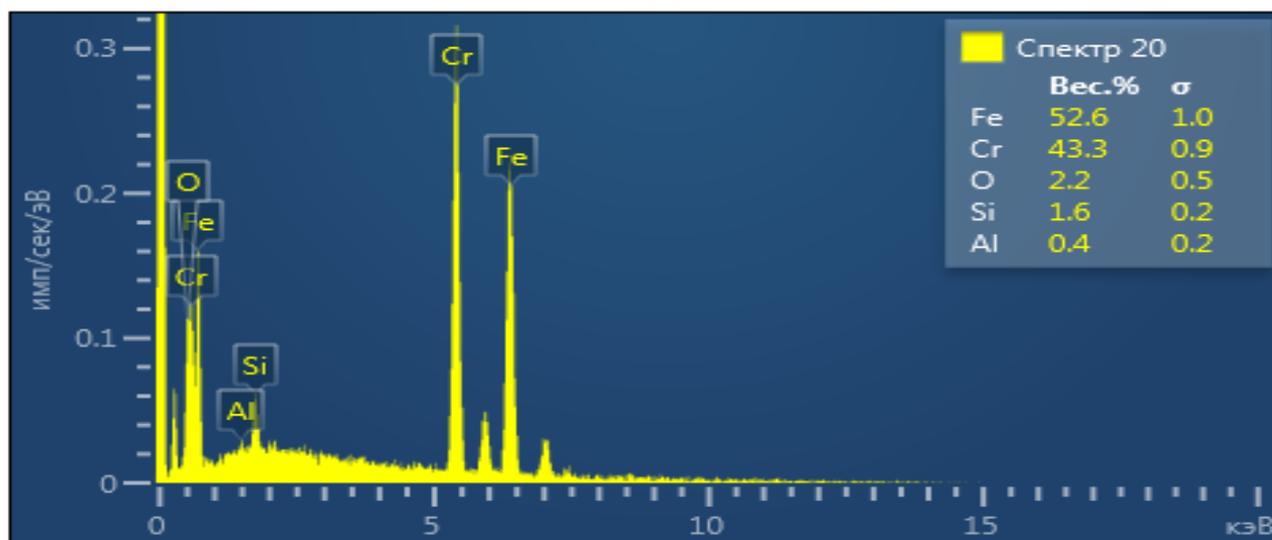


Рисунок 2 – Анализ сканером электронного микроскопа элементов до термической обработки легированного белого чугуна марки 300X32H2M2TL

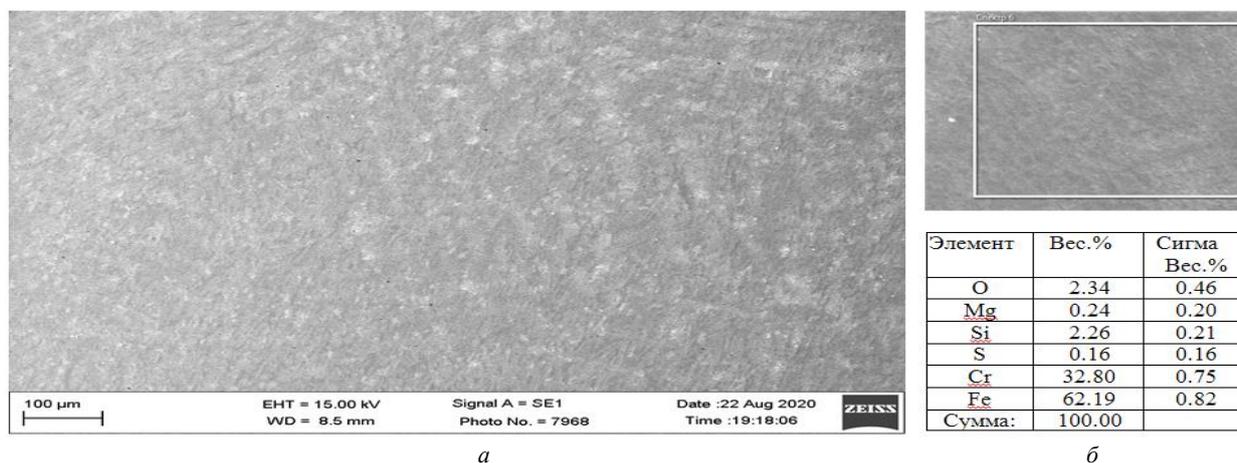


Рисунок 3 – Сплав из белого чугуна 300X32H2M2TL до термической обработки:
a – структура; *б* элементный анализ

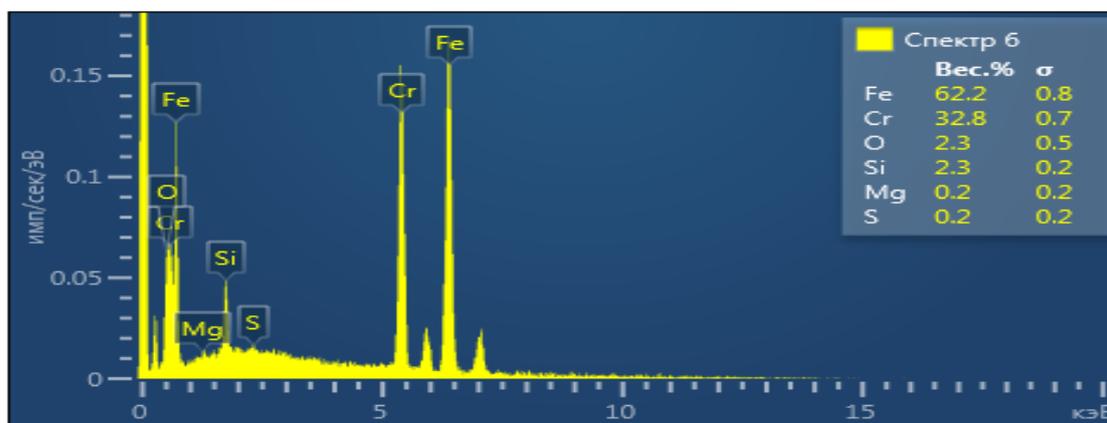


Рисунок 4 – Анализ сканером электронного микроскопа элементов после термической обработки легированного белого чугуна марки 300X32H2M2TL

Закключение

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

– разработана технология увеличения срока службы износостойких рабочих поверхностей, основанная на обеспечении целенаправленной кристаллизации;

– для производства стабильного конструкционного белого чугуна обогащение химического состава шлака легирующими элементами перед загрузкой в печь служит повышению экономической эффективности;

– предварительный подогрев шахты за счет температуры продуктов сгорания, выходящих из топки, позволяет увеличить энергосбережение.

Литература

1. Мирбабоев, В. А. Конструкция материалов и технологий / В. А. Мирбабоев. Тошкент : О' Збекистон. – 2004. – 162 с.

2. Кинетика укрупнения и механизмы упрочнения наноразмерных осадков ядро-оболочка в сплаве Al-Li-Yb-Er-Sc-Zr / Ю. Ван [и др.] // Журнал материаловедения и технологии. – № 61. – С. 197–203.

3. Высокопрочный, пластичный и модульный композит Al-Li/B4C с близкой к наноструктуре структурой, полученный методом накопительного склеивания в рулонах / Ю. Ван [и др.] // Журнал сплавов и соединений. – 2020.

4. Одновременное повышение равномерного удлинения и прочности ультрадисперсного сплава Al-2Li (изделие) / Ю. Ван [и др.] // Журнал сплавов и соединений. – 2021.

5. Микроструктура и механические свойства сверхлегкого композита Mg-Li-Al/Al-Li, полученного накопительным склеиванием в рулонах при температуре окружающей среды / Ю. Ван [и др.] // Материаловедение и инженерия. – 2020.

6. Способы повышения прочности зубьев зубчатых колес, работающих в условиях высокоабразивного шлифования / Т. Нодир [и др.] // Журнал критических обзоров. – № 7. – С. 904–907.

7. Анализ технологических решений по снижению концентрации меди в шлаках кислородно-факельной плавки сульфидных концентратов меди / Н. Тураходжаев [и др.] // Журнал критических обзоров. – № 5. – С. 449–452.

8. Изучение научно-технологических основ переработки отвальных медных и алюминиевых шлаков / Т. Нодир [и др.] // Журнал критических обзоров. – № 11. – С. 441–444.

9. Способы повышения прочности поверхности деталей / Т. Нодир [и др.] // Журнал критических обзоров. – № 11. – С. 380–386.

10. Влияние обработки жидкого алюминиевого сплава при температурах до 2000С на структуру сплава и содержание газовых оксидов алюминия / В. А. Грачев, Н. Б. Тураходжаев // Международный журнал машиностроения и технологии. – № 9 (7). – 2018. – С. 489–495.

11. Разработка состава износостойкого титанового чугуна со стабильной структурой, полученного методом литья. / Н. Тураходжаев [и др.] // Академисия. Международный многопрофильный исследовательский журнал. – Т. 10, вып. 7. – 2020. – С. 17–23.

12. И. Носир. Материалшунослик. Тошкентский «Узбекистон». – 2002. – С. 173–179.

13. Анализ дефектов в белом чугуне / Н. Тураходжаев [и др.]. Международный научный журнал «Теоретическая и прикладная наука». – Т. 86, вып. 6. – 2020. – С. 675–682.

14. Тураходжаев, Н. Важные особенности литейных систем при отливке легированных чугунов в песчано-глиняные формы / Н. Тураходжаев, Н. Саидмахаматов // Академисия. Международный многопрофильный исследовательский журнал. – Т. 10, вып. 5. – 2020. – С. 1573–1580

15. Чоршанбиев, Ш. Методы повышения прочности зубчатых колес / Ш. Чоршанбиев, Н. Тураходжаев // Материалы VIII Международного симпозиума по специальным полимерам, 23–25 августа 2019. – Караганда, 2019. – С. 46.

15. Тураходжаев, Н. Д., / Оқ чўяннинг барқарор структурасини таъминлай-диган технология ишлаб чиқиш ва уни ишлаб чиқариш шароитида жорий қилиш // Н. Д. Тураходжаев. Журнал достижений в области инженерных технологий. – № 1. – 2020.

UDK 621.7

MIRZAEV Kaxramonjon S.,

Lecturer¹

E-mail: k.s.mirzayev@gmail.com

ODILOV Furkat U.,

Lecturer²

E-mail: odilovfurqat1117@gmail.com

¹Andijan Machine-Building Institute, Andijan, Uzbekistan

²Andijan Institute of Economics and Construction, Andijan, Uzbekistan

Received 05 May 2022

Parts used in production are subject to various mechanical loads. If the properties of the part are not commensurate with this load, the service life of the part will not meet the level of demand or economic performance. A number of research institutions and research laboratories around the world are carrying out a number of research activities aimed at reducing the cost of parts and increasing the service life of parts. In particular, Uzbek researchers are conducting research to increase the corrosion resistance of abrasive surfaces. The details of CEMCO and BARMAK crushers made of white cast iron at the Navoi Machine-Building Plant of Navoi Mining and Metallurgical Plant are used under high friction conditions. The article presents the results of research work on the development of methods to increase the wear resistance of working surfaces of these parts to corrosion.

As a result of the research, methods and recommendations have been developed to increase the service life of parts on the basis of increasing the wear resistance of cast products at the machine-building plant of the state enterprise «Navoi MMC».

Keywords: liquefaction, furnace, processing, corrosion resistance, charge, alloy, white cast iron, temperature, structure.

References

1. Mirbaboev, V. A. Construction of materials and technologies / V. A. Mirbaboev. Toshkent : O'zbekiston. – 2004. – 162 p.
2. Kinetics of enlargement and mechanisms of hardening of nanoscale core-shell sediments in Al-Li-Yb-Er-Sc-Zr alloy / Wang, Yu. [et al.] // Journal of Materials Science and Technology. – No. 61. – P. 197–203.
3. High-strength, plastic and modular composite Al-Li/B₄C with a structure close to the nanostructure, obtained by the method of cumulative gluing in rolls / Yu. Van [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2020.
4. Simultaneous increase of uniform elongation and strength of the ultradisperse alloy Al-2Li (product) / Yu. Van [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2021.
5. Microstructure and mechanical properties of an ultralight Mg-Li-Al/Al-Li composite obtained by cumulative gluing in rolls at ambient temperature / Yu. Van [et al.] // Materials Science and engineering. – 2020.
6. Ways to increase the strength of the teeth of gears operating under conditions of highly abrasive grinding / T. Nodir [et al.] // Journal of Critical Reviews. – No. 7. – P. 904–907.
7. Analysis of technological solutions to reduce the concentration of copper in the slags of oxygen-flare melting of copper sulfide concentrates / N. Turakhodzhaev [et al.] // Journal of Critical Reviews. – No. 5. – P. 449–452.
8. The study of scientific and technological bases of processing of dump copper and aluminum slags / T. Nodir [et al.] // Journal of Critical Reviews. – No. 11. – P. 441–444.
9. Ways to increase the strength of the surface of parts / T. Nodir [et al.] // Journal of Critical reviews. – No. 11. – P. 380–386.
10. The effect of processing liquid aluminum alloy at temperatures up to 2000C on the alloy structure and the content of gas aluminum oxides / V. A. Grachev, N. B. Turakhodzhaev // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – № 9 (7). – 2018. – P. 489–495.
11. Development of the composition of wear-resistant titanium cast iron with a stable structure obtained by casting. / N. Tura-khodjaev [et al.] // Akademisiya. International Multidisciplinary Research Journal. – Vol. 10, iss. 7. – 2020. – P. 17–23.
12. I. Nosir. Materialshunoslik. Toshkent: Uzbekistan. – 2002. – P. 173–179.
13. Analysis of defects in white cast iron / N. Turakhodzhaev [et al.]. International scientific journal «Theoretical and Applied Science». – Vol. 86, iss. 06. – 2020. – P. 675–682.
14. Turakhodzhaev, N. Important features of foundry systems when casting alloyed cast iron in sand-clay molds / N. Turakhodzhaev, N. Saidmakhmadov // Academy of Sciences. International Multidisciplinary Research Journal. – Vol. 10, iss. 5, 2020. – P. 1573–1580.
15. Chorshanbiev, Sh. Methods of increasing the strength of gears / Sh. Chorshanbiev, N. Turakhodzhaev // Proceedings of the VIII International Symposium on Special Polymers, august 23–25, 2019. – Karaganda, 2019. – P. 46.
15. Turakhodzhaev, N. D. Ok chyaning barkaror structurasi ta'minlay-digan technology ishlab chikish va uni ishlab chikarish sharoitida zhorilik / N. D. Turakhodzhaev // Journal of Achievements in the Field of Engineering Technologies. – No. 1. – 2020.

БОЙКОВ В. П., д-р. техн. наук, проф.,
зав. каф. «Тракторы»¹
E-mail: trak_atf@bntu.by

ПОПОВ В. Б., канд. техн. наук, доц.,
зав. каф. «Сельскохозяйственные машины»²
E-mail: dk_mtf@gstu.by

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²УО «Гомельский государственный технический университет, имени П. О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 07.09.2022

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА, АГРЕГАТИРУЕМОГО С НАВЕСНОЙ МАШИНОЙ

В статье определяется влияние навесной машины, как компонента машинно-тракторного агрегата (МТА), на перераспределение нормальных реакций на движителях трактора. Действующий стандарт требует, чтобы на всех режимах работы МТА на мост управляемых колес приходилось не менее 20 % веса трактора. Основным источником низкочастотных колебаний трактора, и сформированного на его основе МТА, являются неровности микропрофиля опорной поверхности, индуцирующие колебания колесных движителей трактора. В учебной литературе моделированию и расчету перераспределяющейся нагрузки на этом мосту трактора не уделяется достаточного внимания. В данной статье представлены расчетные схемы и соответствующие математические зависимости, полученные на основе функциональной математической модели транспортного переезда МТА. Последние, будучи преобразованы по Лапласу, обеспечивают возможность получения среднеквадратичных значений ускорений для характерных точек МТА. Вертикальное ускорение навесной машины (НМ) в процессе транспортного переезда по пересеченной местности колеблется около значения равному ускорению свободного падения. Его максимальные значения, возникающие при преодолении вероятных единичных неровностей на 14–55 % выше расчетных, полученных при подъеме НМ из рабочего в транспортное положение. Силы инерции, догружающие НМ и балласт, одновременно и регулярно воздействуют на мост управляемых колес, снижая уровень управляемости трактора (МТА).

Ключевые слова: мобильное энергетическое средство, с/х трактор, подъемно-навесное устройство, машинно-тракторный агрегат, навесная машина, перераспределение нормальных реакций, управляемость.

Введение

Автоматизированное проектирование мобильных энергетических средств (МЭС) – тракторов, универсальных энергетических средств, самоходных шасси и различных погрузчиков осуществляется, в том числе, на основе функционального математического моделирования их узлов и агрегатов. Подъемно-навесные устройства (ПНУ), являющиеся неотъемлемой частью МЭС, обеспечивают агрегатирование МЭС с навесной с/х техникой, формируя в результате разнообразные машинно-тракторные

(МТА) и мобильные сельскохозяйственные агрегаты (МСХА).

Использование в составе МТА навесных машин и орудий ведет к перераспределению нормальных реакций со стороны опорной поверхности на колеса с/х трактора [1]. Для обеспечения требуемого направления движения МТА во время работы (рисунок 1) или транспортного переезда часть его общего веса, приходящаяся на мост управляемых колес трактора должна составлять не менее 20 % от эксплуатационного веса трактора [2]. В литературе этот вопрос освещен недостаточно [3–7].

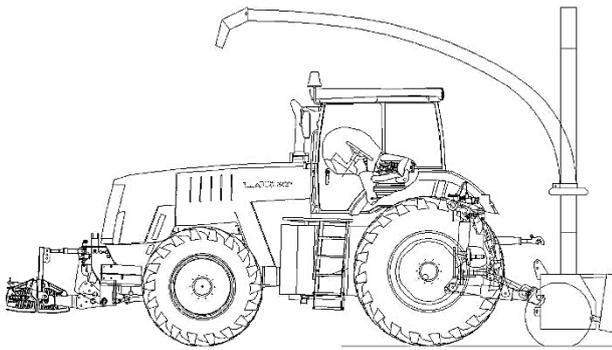


Рисунок 1 – МТА с навесной машиной

Цель работы – формализованное определение управляемости МЭС, агрегируемых с навесным оборудованием для разных режимов функционирования МТА.

Основная часть

Использование в сельском хозяйстве Беларуси прогрессивных технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур с использованием комплексов машин на базе МЭС позволяет заменить в машинно-тракторном парке (МТП) устаревшую технику. При высокой годовой загрузке МЭС (950 ч и более) снизить материалоемкость МТП в 1,5–1,7 раза, повысить производительность труда на 40–60 %, снизить себестоимость сельскохозяйственной продукции на 25–35 %, сократить сроки окупаемости затрат в сельском хозяйстве до 1,5–2 лет при снижении стоимости комплексов машин в 2,3–2,7 раза по сравнению с набором заменяемых самоходных уборочных (зерно-кормосвеклоуборочных) комбайнов [8].

Использование МЭС содействует широкомасштабному применению почвообрабатывающих машин и комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатов с активными и активно-пассивными рабочими органами, а также других машин отечественного и зарубежного производства.

Помимо обеспечения управляемости МЭС, навешивание машин и рабочих орудий на переднее (фронтальное) и заднее ПНУ не должно приводить к превышению:

- допустимого общего веса МТА;
- допустимых осевых нагрузок;
- максимально допустимой нагрузки на шины МЭС.

В рабочем режиме МТА, состоящего из трактора и задненавесной почвообрабатывающей машины или орудия, нагрузка на крюке колеблется, а рост тягового сопротивления регулярно вызывает догрузку его заднего и разгрузку переднего мостов. В результате возрастает буксование передних ведущих колес трактора

и одновременно ухудшается его управляемость, что в целом снижает производительность МТА.

Наиболее распространенным способом решения этой проблемы является рациональное балластирование трактора со стороны переднего моста (рисунок 2), повышающее его тягово-сцепные свойства [6, 7].

В статике нагрузка на передней оси горизонтально расположенного трактора, с плугом в транспортном положении, при балластировании посредством переднего ПНУ определяется по выражению:

$$R_A = \frac{P_4 \cdot (X_{S4} + L) + P_{TP} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6}}{L}.$$

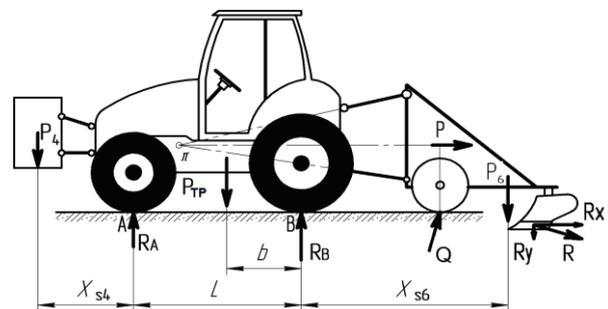


Рисунок 2 – Расчетная схема нагрузок, действующих на МТА

Горизонтальные координаты X_{S4} , X_{S6} – центров тяжести балласта и плуга в рабочем и транспортном положениях определяются по результатам геометрического анализа кинематических цепей, включающих плоские схемы соответствующих механизмов навески [1].

Во время пахоты (технологического процесса) для обеспечения управляемости и сцепления нагрузка на переднюю и заднюю оси трактора должны составлять соответственно минимум 20 % и 40 % от общего веса МЭС. В этом случае нагрузка на передние колеса трактора R_A определяется из уравнения моментов сил, действующих на МЭС, относительно точки В:

$$R_A = \frac{P_{TP} \cdot b + P_4 \cdot (X_{S4} + L) - P \cdot \rho}{L},$$

где ρ – плечо силы $P = f(R, P_6, Q)$ [9] относительно точки В.

Для определения силы R_B может быть использовано условие $\sum Y = 0$, согласно которому:

$$R_B = P_{TP} + P \sin \alpha - R_A,$$

где $P \cdot \sin \alpha$ – вертикальная компонента силы, представляющей геометрическую сумму веса навесного плуга (P_6), сопротивления на его рабочих органах (R) и реакции на колесе (Q).

В режиме перевода навесной машины из рабочего в положения в транспортное (рисунок 3) для расчета параметра управляемости МЭС составляется уравнение равновесия моментов сил, действующих на МТА относительно точки опоры ведущих колес:

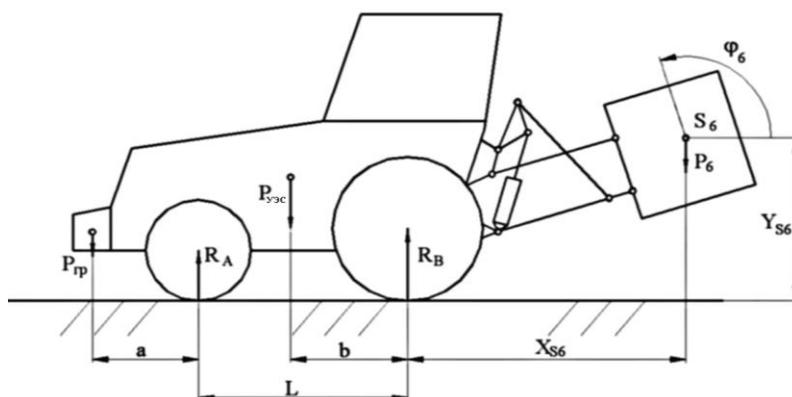


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на МТА при поднятой навесной машине

Решив уравнение моментов сил, относительно реакции на управляемом колесе R_A получим:

$$R_A = \frac{P_{гр} \cdot (a + L) + P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6}}{L}.$$

Вместе с вышеупомянутым ограничением получим систему из уравнения и неравенства:

$$\begin{cases} R_A = \frac{P_{МЭС} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6} + P_{гр} \cdot (L + a)}{L}; \\ R_A \geq 0,2 \cdot P_{МЭС}. \end{cases} \quad (1)$$

Решив систему (1) получим условие соблюдения управляемости МЭС, которое состоит в ограничении веса, агрегируемой с МЭС навесной машины или рабочего орудия:

$$P_6 \leq \frac{P_{МЭС} \cdot (b - 0,2 \cdot L) + P_{гр} \cdot (a + L)}{X_{S6}}. \quad (2)$$

В режиме транспортного переезда требования по уровню нагрузки на передней и задней осях МЭС сохраняются. В процессе проектирования МЭС условия рационального агрегирования с навесной техникой должны обеспечиваться, в том числе, выбором рациональных параметров подъемно-навесных устройств (ПНУ) трактора.

$$\sum M_B = P_{гр}(a + L) + P_{МЭС}b - P_6 X_{S6} - R_A L = 0$$

где: $P_{гр}$ – вес балласта; $P_{МЭС}$ – вес МЭС; L – база МЭС; a и b – расстояние от вертикальной проекции центра тяжести МЭС до вертикальных проекций центра тяжести балласта (противовеса) и оси моста ведущих колес соответственно.

В этом режиме из-за кинематического возбуждения со стороны микрорельефа [6] центры тяжести МЭС и навесной машины совершают сложные колебания в продольной плоскости, получая ускорения, вызванные контактированием колес МЭС с соответствующим агрофоном, поэтому нагрузка на звенья механизма навески приобретает переменный (вероятностный, колебательный) характер:

$$P_6^* = P_6 \pm m_6 \cdot \ddot{Y}_{S6}. \quad (3)$$

С учетом принятых допущений, схема динамической модели МТА представляет колебательную систему с двумя степенями свободы (рисунок 4).

Эквивалентная динамической схеме ФММ транспортного переезда МТА описывается дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами:

$$\ddot{z}_1 + 2h_1 \cdot \dot{z}_1 + \omega_{c1}^2 \cdot z_1 = 2 \cdot h_1 \cdot \dot{q}_1 + \omega_1^2 \cdot q_1; \quad (4)$$

$$\ddot{z}_2 + 2h_2 \cdot \dot{z}_2 + \omega_{c2}^2 \cdot z_2 = 2 \cdot h_2 \cdot \dot{q}_2 + \omega_2^2 \cdot q_2. \quad (5)$$

где z_i – вертикальные перемещения характерных точек МТА; q, \dot{q} – характеристики неровности опорной поверхности; ω_{ci} – частоты собственных колебаний характерных точек корпуса трактора; h_i – коэффициенты демпфирования.

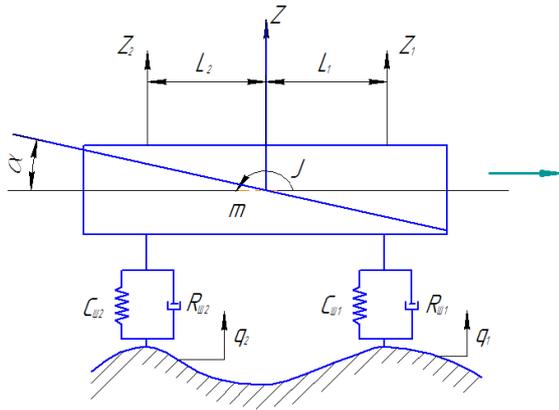


Рисунок 4 – Схема динамической модели МТА

Преобразованные по Лапласу [10] при нулевых начальных условиях уравнения принимают вид:

$$\begin{aligned} (S^2 + 2 \cdot h_1 \cdot S + \omega_{c1}^2) \cdot Z_1(S) &= \\ &= (2 \cdot h_1 \cdot S + \omega_1^2) \cdot Q_1(S); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} (S^2 + 2 \cdot h_2 \cdot S + \omega_{c2}^2) \cdot Z_2(S) &= \\ &= (2 \cdot h_2 \cdot S + \omega_2^2) \cdot Q_2(S). \end{aligned} \quad (7)$$

Из приведенных выражений определяются соответствующие передаточные функции – $W_{z1}(S)$ и $W_{z2}(S)$.

Для заднего ведущего моста передаточная функция принимает вид:

$$W_{z1}(S) = \frac{2h_1S + \omega_1^2}{S^2 + 2h_1S + \omega_{c1}^2} = \frac{b_1S + 1}{a_1^2S^2 + b_1S + 1}, \quad (8)$$

где $a_1 = 1/\omega_{c1}$; $b_1 = 2h_1/\omega_{c1}^2$.

Передаточная функция для переднего ведущего моста имеет аналогичный структурный вид:

$$\begin{aligned} W_{z2}(S) &= \frac{2 \cdot h_2 \cdot S + \omega_2^2}{S^2 + 2 \cdot h_2 \cdot S + \omega_{c2}^2} = \\ &= \frac{b_2 \cdot S + 1}{a_2^2 \cdot S^2 + b_2 \cdot S + 1}. \end{aligned} \quad (9)$$

Характеристики вынужденных колебаний МЭС и МТА определяются сочетанием свойств динамической модели и закона изменения внешних воздействий. Такую комбинацию удобнее исследовать, если в качестве характеристики динамической модели принять ее амплитудно-частотную характеристику (АЧХ), а воздействие задавать спектральной плотностью случайной функции сельхозфона.

Таким образом, посредством АЧХ связываются спектральные плотности характеристик

неровностей сельхозфона и параметры вибрации корпуса МЭС:

$$\begin{aligned} S_{z1}(\omega) &= A_{z1}(\omega)^2 \cdot S_{q1}(\omega); \\ S_{z2}(\omega) &= A_{z2}(\omega)^2 \cdot S_{q2}(\omega); \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} S_{\ddot{z}1}(\omega) &= A_{\ddot{z}1}(\omega)^2 \cdot S_{\ddot{q}1}(\omega); \\ S_{\ddot{z}2}(\omega) &= A_{\ddot{z}2}(\omega)^2 \cdot S_{\ddot{q}2}(\omega), \end{aligned} \quad (11)$$

где $S_q(\omega)$, $S_{\ddot{q}}(\omega)$ – спектральные плотности характеристик неровностей сельхозфона; $A_{z1}(\omega)$, $A_{z2}(\omega)$ – АЧХ перемещений для заднего и переднего мостов от неровностей; $S_{\ddot{z}1}(\omega)$, $S_{\ddot{z}2}(\omega)$, $A_{\ddot{z}1}(\omega)$, $A_{\ddot{z}2}(\omega)$ – спектральные плотности и АЧХ ускорений от неровностей.

Из теории автоматического управления [10] известно, что АЧХ динамического звена равна модулю его передаточной функции, т. е.

$$A_{zi}(\omega) = |W_{zi}(j\omega)|; \quad A_{\ddot{z}i}(\omega) = |W_{\ddot{z}i}(j\omega)|.$$

Необходимо получить соответствующие АЧХ $|W_{z1}(j\omega)|$, $|W_{z2}(j\omega)|$ для передней и задней частей корпуса МЭС. В качестве примера выполним эту операцию для заднего моста и в выражении его передаточной функции (8) заменим S на $j\omega$.

$$W_{z1}(j\omega) = \frac{b_1 \cdot j \cdot \omega + 1}{a_1^2 \cdot j^2 \cdot \omega^2 + b_1 \cdot j \cdot \omega + 1}. \quad (12)$$

Для определения АЧХ – $|W_{z1}(j\omega)|$ необходимо выделить действительную и мнимую части в числителе и знаменателе правой части выражения (12), а затем избавиться от j в знаменателе полученной дробно-рациональной функции:

$$\begin{aligned} W_{z1}(j\omega) &= U(\omega) + jV(\omega); \\ W_{z1}(j\omega) &= \frac{U_1 + jV_1}{U_2 + jV_2} \cdot \frac{(U_2 - jV_2)}{(U_2 - jV_2)} = \\ &= \frac{U_1 \cdot U_2 + V_1 \cdot V_2}{U_2^2 + V_2^2} + j \frac{U_2 \cdot V_1 - U_1 \cdot V_2}{U_2^2 + V_2^2}. \end{aligned}$$

Определим значения для компонент полученного выражения:

$$\begin{aligned} U_1(\omega) &= 1; \quad V_1(\omega) = b_1\omega; \\ U_2(\omega) &= 1 - a_1^2\omega^2; \quad V_2(\omega) = b_1\omega; \\ U_1U_2 &= 1 - a_1^2\omega^2; \quad V_1V_2 = b_1^2\omega^2; \\ U_2V_1 &= b_1\omega - b_1a_1^2\omega^3 = b_1\omega(1 - a_1^2\omega^2); \quad U_1V_2 = b_1\omega; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
U_2^2 &= 1 - 2a_1^2\omega^2 + a_1^4\omega^4; \quad V_2^2 = b_1^2\omega^2; \\
U(\omega) &= \frac{U_1U_2 + V_1V_2}{U_2^2 + V_2^2} = \frac{1 - a_1^2\omega^2 + b_1^2\omega^2}{1 - 2a_1^2\omega^2 + a_1^4\omega^4 + b_1^2\omega^2} = \\
&= \frac{1 + (b_1^2 - a_1^2)\omega^2}{1 + (b_1^2 - 2a_1^2)\omega^2 + a_1^4\omega^4}; \\
V(\omega) &= \frac{U_2 \cdot V_1 - U_1 \cdot V_2}{U_2^2 + V_2^2} = \\
&= \frac{a_1^2 \cdot \omega^3}{1 + (b_1^2 - 2a_1^2) \cdot \omega^2 + a_1^4 \cdot \omega^4}.
\end{aligned}$$

В результате определим модуль ПФ заднего ведущего моста, т. е. найдем его АЧХ:

$$\begin{aligned}
|W_{z1}(j\omega)| &= \sqrt{U(\omega)^2 + jV(\omega)^2}; \\
A_{z1}(\omega) &= |W_{z1}(j\omega)| = \\
&= \sqrt{\left(\frac{1 + (b_1^2 - a_1^2)\omega^2}{1 + (b_1^2 - 2a_1^2)\omega^2 + a_1^4\omega^4}\right)^2 + \left(\frac{a_1^2\omega^3}{1 + (b_1^2 - 2a_1^2)\omega^2 + a_1^4\omega^4}\right)^2}. \quad (13)
\end{aligned}$$

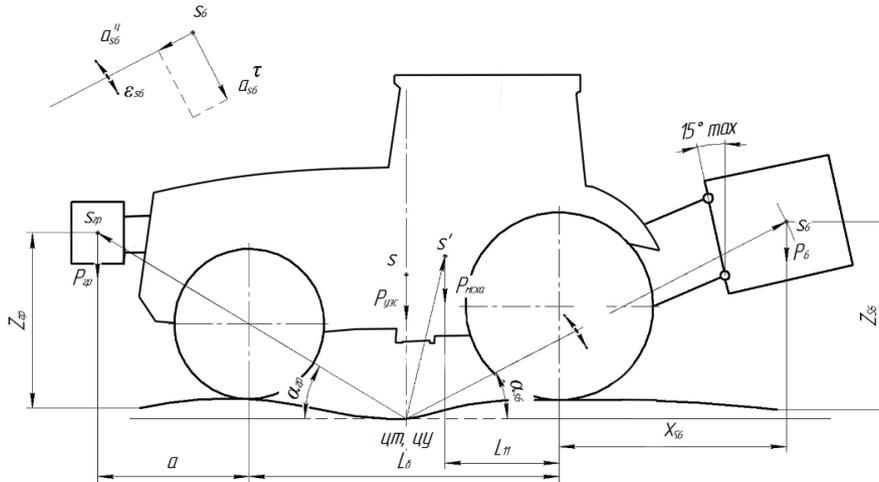


Рисунок 5 – Схема, поясняющая плоские колебания характерных точек МТА

Среднеквадратичные вертикальные перемещения заднего и переднего мостов МЭС в соответствии с выражениями (13) можно заменить среднеквадратичным вертикальным перемещением центра тяжести МЭС и его угловыми колебаниями относительно центра упругости в продольной плоскости. центр тяжести у МТА – S' , смещение относительно центра тяжести МЭС – S , вертикальное расположение которого совпадает с общим для МЭС и МТА центром упругости (рисунок 5), поэтому:

$$z_0 = \frac{z_1 \cdot l_{22} + z_2 \cdot l_{11}}{L_6}; \quad \alpha = (z_2 - z_1) / L_6.$$

Наиболее распространенным тестовым воздействием на динамические звенья является единичное ступенчатое воздействие. В качестве такого нами принята максимальная высота неровностей:

$$q_{\max} \approx 3 \cdot \sigma_q.$$

Дисперсии вертикальных ускорений характерных точек МТА определяются по известному из [4] выражению:

$$\sigma_{zi}^2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S_{zi}(\omega) d\omega, \quad (14)$$

где σ_{zi} – среднеквадратичное ускорение характерной точки.

Среднеквадратичные линейная скорость центра тяжести МТА и угловая скорость его колебаний относительно центра упругости определяются как результат дифференцирования вышеприведенных выражений по независимой переменной t :

$$\dot{z}_0 = \frac{\dot{z}_1 \cdot l_{22} + \dot{z}_2 \cdot l_{11}}{L_6} \quad \dot{\alpha} = (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) / L_6.$$

Повторное дифференцирование по независимой переменной исходных параметров колебаний, описывающих плоское движение центра тяжести МТА, дает нам выражения для его

среднеквадратичных линейного и углового ускорений:

$$\ddot{z}_0 = \frac{\ddot{z}_1 l_{22} + \ddot{z}_2 l_{11}}{L_0} \quad \ddot{\alpha} = (\ddot{z}_2 - \ddot{z}_1) / L_0.$$

Колебания мостов трактора жестко связаны с колебаниями его центра тяжести и центра тяжести МТА и далее через механизм навески с колебаниями центра тяжести навесной машины грузов балласта. Таким образом, среднеквадратичные ускорения, совершающих плоское движение характерных точек МТА, определяются по известному из [11] выражению:

$$\ddot{Z}_{Si} = \ddot{a}_{um} + \ddot{a}_{Si}^n + \ddot{a}_{Si}^r,$$

где \ddot{a}_{um} – среднеквадратичное ускорение центра тяжести МТА; \ddot{a}_{Si}^n , \ddot{a}_{Si}^r – соответственно нормальное и тангенциальное среднеквадратичные ускорения характерной точки.

Нормальные и тангенциальные среднеквадратичные ускорения характерных точек определяются по известным из [11] выражениям:

$$\ddot{a}_{Si}^n = \dot{\alpha}_{Si}^2 \cdot L_{Si} \cdot \sin \beta_{Si}; \quad \ddot{a}_{Si}^r = \ddot{\alpha}_{Si} \cdot L_{Si} \cdot \sin \beta_{Si},$$

где $\dot{\alpha}_{Si}$ и $\ddot{\alpha}_{Si}$ – соответственно среднеквадратичные угловые скорость и ускорения характерных точек; L_{Si} – расстояние от центра упругости до характерной точки; β_{Si} – угол, образуемый L_{Si} с горизонтом.

Среднеквадратичные угловые скорость и ускорение характерных точек определяются по выражениям:

$$\dot{\alpha}_{S1p} = \dot{\alpha} \cdot \frac{L_{S1p}}{L_{S'}}; \quad \dot{\alpha}_{S6} = \dot{\alpha} \cdot \frac{L_{S6}}{L_{S'}};$$

$$\ddot{\alpha}_{S1p} = \ddot{\alpha} \cdot \frac{L_{S1p}}{L_{S'}}; \quad \ddot{\alpha}_{S6} = \ddot{\alpha} \cdot \frac{L_{S6}}{L_{S'}}.$$

Заключение

Колебания нагрузки на механизме навески МЭС в рабочем режиме и режиме транспортного переезда МТА приводят к переменному характеру силового воздействия на раму МЭС и соответствующему перераспределению нормальных реакций между передним и задним мостами МЭС, что влечет за собой колебания управляемости. Представленные в статье аналитические выражения позволяют выполнить оценку управляемости МЭС (разных вариантов МТА).

Литература

1. Математическое моделирование подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 251 с.
2. Система стандартов безопасности труда. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности (Межгосударственный стандарт): ГОСТ 12.2.111-85. – Минск, 2006. – 10 с.
3. Амельченко, П. А. Агрегатирование тракторов «Беларусь»: учеб. пособие / П. А. Амельченко, Б. Я. Шнейсер, Н. Г. Шатуня. – Мн.: Ураджай, 1993. – 302 с.
4. Гуськов, В. В. Тракторы. / В. В. Гуськов. – Часть II. Теория. – Минск: Вышэйшая школа, 1977. – 384 с.
5. Бойков, В. П. Многоцелевые гусеничные и колесные машины. Теория / В. П. Бойков [и др.]. – Минск: Новое знание, 2012. – 543 с.
6. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства: учеб. для студентов высш. учеб. заведений / Г. М. Кутьков. – М.: Колос, 2004. – 504 с.
7. Скотников, В. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля: учебное пособие / В. А. Скотников [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.
8. Марченко О. С. Комплексы уборочных и почвообрабатывающих машин и комбинированных агрегатов на базе универсальных мобильных энергосредств мощностью 200–450 л.с. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: сб. тезисов докладов 2-й междунар. науч.-практ. конф., 4–5 окт. 2018 г. – Гомель, 2018. – С. 93–98.
9. Попов, В. Б. Влияние параметров механизма навески и плуга на тягово-энергетические показатели пахотного агрегата / В. Б. Попов // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – № 4. – С. 58–64.
10. Макаров, И. М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал) / И. М. Макаров, Б. М. Менский. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.
11. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики. Динамика: учеб. для высш. техн. учеб. заведений / А. А. Яблонский. – 4-е изд., доп. – М.: Высшая школа, 1971. – 488 с.: ил.
12. Попов, В. Б. Влияние колебаний мобильного сельскохозяйственного агрегата на его управляемость и нагруженность звеньев механизма навески / В. Б. Попов // Вестник Брянской ГСХА – 2017. – № 6. – С. 43–51.

BOYKOV Vladimir P., D. Sc. in Eng., Prof.,
head of the department «Tractors»
E-mail: trak_atf@bntu.by

POPOV Victor. B., Ph.D. in Eng., Prof.,
head of the department « Agricultural machines »
E-mail: dk_mtf@gstu.by

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

²Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel, Republic of Belarus

Received 07.09.2022

DETERMINATION OF STEERABILITY OF MOBILE POWER UNIT AGGREGATED WITH MOUNTED MACHINE

The article defines the influence of a mounted machine, as a component of a machine-tractor unit (MTA), on the redistribution of normal reactions on the tractor propulsors. The current standard requires that at least 20 % of the weight of the tractor be on the axle of the steered wheels in all modes of operation of the MTA. The main source of low-frequency oscillations of the tractor, and the MTA formed on its basis, are the irregularities of the microprofile of the supporting surface, which induce oscillations of the tractor's wheel propellers. In the educational literature, modeling and calculation of the redistributed load on the tractor axles is not given enough attention. The article presents design schemes and the corresponding mathematical dependencies obtained on the basis of a functional mathematical model of the MTA transport crossing. The latter, being converted according to Laplace, provide the possibility of obtaining root-mean-square values of accelerations for the characteristic points of the MTA. The vertical acceleration of a mounted vehicle (HM) in the process of a transport crossing over rough terrain fluctuates around a value equal to the free fall acceleration. Its maximum values, which occur when overcoming probable single irregularities, are 14–55 % higher than the calculated values obtained when lifting the NM from the working position to the transport position. The inertia forces, loading HM and ballast, simultaneously and regularly act on the axle of the steered wheels, reducing the level of tractor steerability (MTA).

Keywords: mobile power unit, agricultural tractor, lifting mounted device, machine-tractor unit, mounted machine, redistribution of normal reactions, steerability.

References

1. Popov, V. B. Mathematical modeling of lift and mounted devices of mobile power units / V. B. Popov. – Gomel: GSTU im. P. O. Sukhoi, 2016. – 251 p.

2. System of labor safety standards. Agricultural machines mounted and trailed. General safety requirements (Interstate standard): GOST 12.2.111–85. – Minsk, 2006. – 10 p.

3. Amelchenko, P. A. Aggregation of tractors «Belarus»: textbook. allowance / P. A. Amelchenko, B. Ya. Schneiser, N. G. – Minsk: Urajay, 1993. – 302 p.

4. Guskov, V. V. Tractors. / V. V. Guskov Part II. Theory. – Minsk : Highest school, 1977. – 384 p.

5. Boikov, V. P. Multipurpose tracked and wheeled vehicles. Theory / V. P. Boikov [et al.]. – Minsk: New knowledge, 2012. – 543 p.

6. Kutkov, G. M. Tractors and cars. Theory and technological properties: textbook for students of higher textbook institutions / G. M. Kutkov. – M.: Kolos, 2004. – 504 p.

7. Skotnikov, V. A. Fundamentals of the theory and calculation of the tractor and car: textbook / V. A. Skotnikov [et al.]. – M.: Agropromizdat, 1986. – 383 p.

8. Marchenko, O. S. Complexes of harvesting and soil-cultivating machines and combined units based on universal mobile power equipment with a capacity of 200–450 hp. Innovative technologies

in the agro-industrial complex – today and tomorrow: Sat. abstracts of the 2-nd int. scientific-pract. conf., 4–5 Oct. 2018. – Gomel, 2018. – P. 93–98.

9. Popov, V. B. Influence of the parameters of the linkage mechanism and the plow on the traction and energy indicators of the arable unit / V. B. Popov // Bulletin of GGTU im. P. O. Sukhoi, 2013. – № 4. – P. 58–64.

10. Makarov, I. M. Linear automatic systems (elements of theory, calculation methods and reference material) / I. M. Makarov, B. M. Mensky. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 504 p.

11. Yablonsky, A. A. Course of Theoretical Mechanics. Dynamics: textbook for higher tech. textbook institutions / A. A. Yablonsky. – 4th ed., add. – M.: Higher school, 1971. – 488 p.

12. Popov, V. B. Influence of vibrations of a mobile agricultural unit on its controllability and loading of links of the linkage mechanism / V. B. Popov // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. – 2017. – №. 6. – P. 43–51.

УДК 629.113

НЕЧАЕВА В. В.,

аспирант

E-mail: vladaa21@gmail.com

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 07.07.2022

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ В ВЫБОРЕ КРИТЕРИЕВ ПРИ ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОЛЕСНОГО ШАССИ

Процесс дизайн-проектирования рассмотрен как сложная мультисистема. Выявлены особенности художественного проектирования многофункциональных или специализированных транспортных средств. Проведен анализ и выполнена систематизация аспектов, влияющих на разработку специализированных транспортных средств в различных сферах применения. Анализ выполнен на основе специально обобщенных критериев, определяющих процесс создания специализированного транспортного средства.

Система производства характеризуется двумя основными этапами: проектированием и нормированием, при доминирующей роли последнего. При непосредственном выделении критериев анализа в дизайне следует понимать невозможность рассмотрения их в отрыве от экономических и инженерных императивов.

Ввиду особенностей процесса работы над формой кузова и внешним видом элементов автомобиля для массового потребителя, его следует начинать с рассмотрения технических, нормативных и экономических требований, предъявляемых к автомобилю. К ним относятся: вопросы обеспечения безопасности, размещение багажа, грузоподъемность и ходовые качества, размещение агрегатов шасси, вентиляцию и отопление, обзорность, аэродинамику, технологичность и ценообразование.

Ключевые слова: концепция машины, дизайн-проектирование, специализированное или многофункциональное транспортное средство, особенности проектирования, мультисистема, автомобильные технологии, анализ критериев дизайн-проекта.

Введение

Актуальность работы обуславливается тем, что процесс дизайн-проектирования многофункциональных или специализированных транспортных средств требует своевременного решения сложных задач, оговоренных в техническом задании на создание машины и которые влияют на обоснованный выбор технических, технологических, функциональных, эргономических и экономических параметров проектируемого объекта.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод о том, что речь идет о многокритериальной задаче в ходе выполнения дизайн-проекта с оценкой целесообразности использования и обоснованности применения тех или иных решений при проектировании многофункционального колесного шасси.

При непосредственном выделении критериев анализа в дизайне следует понимать невозможность рассмотрения в отрыве от экономических и инженерных критериев. Система производства характеризуется двумя основными этапами: проектированием и нормированием, при доминирующей роли последнего.

На разработку дизайн-решения влияют следующие критерии – факторы: компоновка, безопасность, эргономика, форма транспортного средства, дополнительные функции.

В этой статье представлена попытка анализа и выбора критериев для создания универсального спецавтомобиля с целью возможного применения при эксплуатации в качестве пожарной техники, подъемно-транспортных машин, в сфере коммунального хозяйства (подметально-уборочные машины, снегоочистители и т. д.), транспортировки строительно-дорожных материалов, а также для гражданских целей (надежный и проходимый экспедиционный автомобиль) для увеличения экономической целесообразности и увеличения спроса транспортного средства.

Предварительный анализ и подходы

В последних публикациях достаточно внимания уделено вопросам анализа факторов формообразования в дизайне легковых автомобилей, начиная с проблемных статей, заканчивая кандидатскими и докторскими диссертациями [1–6]. В отношении мобильных машин специализированного назначения такой информационный ресурс крайне ограничен [7, 8].

В качестве объяснения достаточно посмотреть на формирование концепции того или иного типа транспортного средства (см. рисунок 1) [9]. Если легковой автомобиль предназначен в основном для перевозки пассажиров и этот класс машин можно классифицировать по мощности двигателя, типу привода, наличию электроники в том или ином исполнении и др., то в отношении специальных автомобилей, как это следует из представленного концептуального подхода, этого явно недостаточно. У этого типа мобильных машин слишком широк диапазон их функционального назначения и, тем более, их оперативного назначения (соответствующие определения можно видеть по рисунку 1).

Объяснение привлекательности у широкого круга дизайнеров и производителей легковых автомобилей в развитии и реализации новых подходов в дизайн-проектировании достаточно простое – рынок и потребительская среда, количественный показатель которых сложно определить.

В отношении нашего класса специальных транспортных средств, также несмотря на возрастающие потребности в них и объемы производства, тем не менее, профессиональный интерес дизайнеров проявляется в меньшей степени.

Поэтому в данной статье нами предпринята попытка проанализировать и, по возможности, обобщить некоторые перспективные подходы для дальнейшего развития методологии дизайн-проектирования специальных мобильных машин.



Рисунок 1 – Формирование концепции мобильной машины

Для проектирования специализированных транспортных средств (далее ТС) необходимо учитывать их ориентированность как на массовое производство, так и на специальные технические и функциональные требования, которые прописаны в различных нормативных документах, число которых достаточно велико. Приведем лишь некоторые из них:

- «Автомобили грузовые. Общие технические требования» [10];
- «Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования» [11];
- «Автомобили скорой медицинской помощи. Технические требования» [12];
- «Машины для городского коммунального хозяйства и содержания дорог» [13].

И еще одно обстоятельство, которое не может быть не учтено при разработке дизайн-проекта таких машин. Конструктивное исполнение этих специализированных машин может быть выполнено (и выполняется) на базе одного и того же колесного шасси, что накладывает определенный отпечаток на их дизайн при условии сохранения бренда производителя.

Кроме того, условия эксплуатации (среда обитания) этих машин настолько широки и изменчивы, что возможно даже и не подлежат системному описанию, тем более в рамках данной статьи. В связи с этим и возникла необходимость проанализировать и систематизировать некоторые подходы в выборе критериев с учетом особенности специализированных ТС и дальнейшего

процесса разработки алгоритма их дизайн-проектирования.

Выбор критериев на основе системного подхода

Системный подход – направление методологии научного познания и проектирования, в основе которого лежит рассмотрение объекта как системы: целостного комплекса взаимосвязанных элементов, совокупности взаимодействующих объектов в системе «человек-местность-машина» [9].

В соответствии с принятой концепцией разрабатываемой специализированной машиной и с учетом оперативных факторов (рисунок 1) нами выделены следующие критерии: социальный, экономический, эксплуатационный, производственный и технологический. Последующие конструктивные решения должны быть экономически обоснованными и при этом нести в себе социальную значимость, повышать надежность автомобиля, уменьшая его себестоимость, и при этом, новая конструкция автомобиля должна соответствовать производственным возможностям завода-изготовителя.

Ниже представлена схема критериев оценки дизайнерского решения разработанного с целью рационализации и реструктуризации привычного порядка работы дизайнера, повышающего эффективность и целесообразность разработки новых дизайн-проектов (рисунок 2).

В последующем выбранные критерии оценки будут служить систематизированным способом оценки дизайн-решения, поскольку

будут позволять производить оценку по конкретным направлениям работы дизайнера. Прокомментируем указанные критерии.



Рисунок 2 – Критерии оценки дизайн-проекта

Социальный и экономический критерии

Совершенствование конструкций изделий, то есть конструирование – это выход за пределы определенного конструкторского опыта. Экономические потребности определяют направления социально-технической деятельности, в том числе и конструкторской. Эти два критерия постоянно находятся в тесной взаимосвязи. Поэтому рассматривать их в отрыве друг от друга не представляется возможным, ввиду непрерывного взаимовлияния.

Социально-экономические требования выражают взаимоотношения потребителя с отдельными изделиями промышленности и исходят из общественной потребности и возможности общества. Завершающим требованием является соответствие формы изделия лучшим отечественным и зарубежным образцам.

С другой стороны, экономический уровень развития общества зависит от качества и количества техники, которая, в свою очередь, отражает состояние экономики.

Производственный критерий

Стадия производства включает постановку на производство (подготовка и освоение производства), установившееся производство и снятие с производства.

Важнейшим этапом этих работ является технологическая подготовка производства, процессы организации и управления которой регламентируются комплексом государственных стандартов. При этом осуществляется выбор технологии и оборудования, организация материально-технического снабжения, планирование процесса производства во времени, распределение работ и т. д.

При несоответствии технического уровня машины современным требованиям, низких технологических показателей и показателей качества процессов функционирования, отрицательном воздействии машины на здоровье людей и окружающую среду, отсутствии заказов и спроса, а также при освоении в производстве аналогичной по назначению новой машины с более высокими характеристиками выпускаемая машина подлежит снятию с производства.

Поэтому связь и влияние данных критериев на дизайн-проект, или даже на дизайн-решение, машины очевидна.

Эксплуатационный критерий

Эксплуатационный критерий, в свою очередь, состоит из следующих элементов (рисунок 3).

Каждый из указанных составляющих определяет возможность достижения высоких технико-экономических показателей машины, обеспечения ее эффективной работы, повышения срока службы. В целом этот критерий не нуждается в отдельных комментариях.

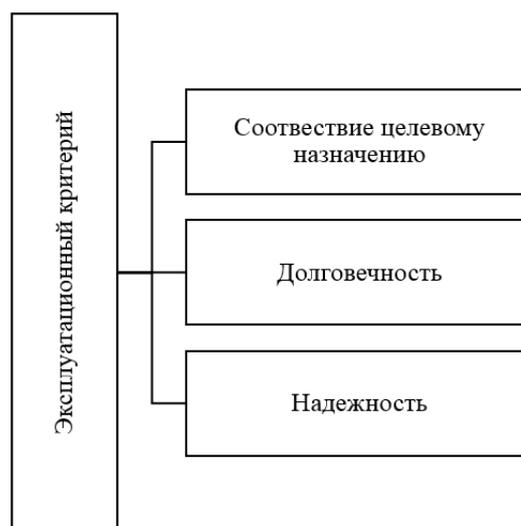


Рисунок 3 – Составляющие эксплуатационного критерия

Хорошо известно, что даже самые совершенные проектные технические характеристики изделия – это необходимое, но еще недостаточное условие высокого качества этого изделия. Все они – это лишь его технические возможности.

Технологический критерий

Технологический критерий связан с процессом производства и зависит от эксплуатационного и экономического критериев. Его можно представить следующим образом (рисунок 4).

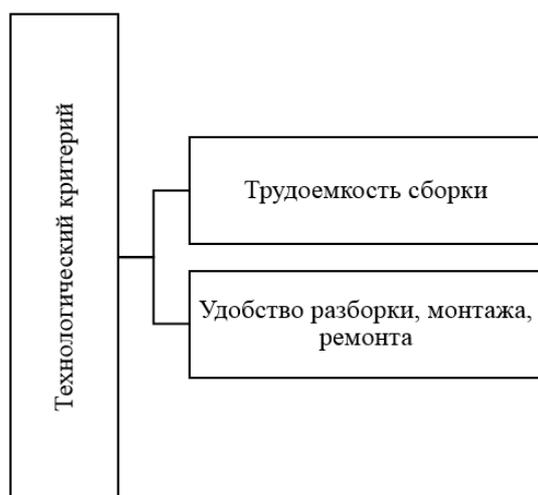


Рисунок 4 – Составляющие технологического критерия

Указанные составляющие характеризуют следующие требования: минимальная трудоемкость сборки; удобство разборки и ремонта, транспортирования и монтажа на месте установки, удобство обработки деталей (простые геометрические формы); соответствие форм деталей масштабам выпуска и применяемому оборудованию; минимально возможные припуски под обработку; рациональное назначение точности изготовления и шероховатости поверхностей; унификация деталей.

Вполне очевидно, что указанный критерий также непосредственно связан с разрабатываемым дизайн-проектом машины и также не нуждается в дополнительных комментариях.

Методика создания дизайн-проекта

Теперь, для разработки непосредственно методики и выработки алгоритма дизайн-проекта как руководящего материала для дизайнера в процессе реализации дизайн-проекта, необходимо систематизировать используемые в таких процессах методы:

Наиболее часто используется комбинация следующих методов: метод аналогий, сходства, подобия; метод агрегатирования; метод «Вживание в роль».

В конечном итоге оценка дизайн-решения будет производиться с учетом и на основании приведенных выше критериев оценки разрабатываемого объекта.

При этом в процессе создания нашей машины используются и общенаучные методы, понимание которых позволяет более эффективно осуществлять разработку решения поставленной перед дизайнером задачи.

Заключение

Таким образом в данной статье показано существенное различие в подходах к дизайн-

проектированию легковых автомобилей и многофункциональных транспортных средств. С учетом специфики их функционального назначения и условий выполнения технологических операций возникают определенные требования и к реализации их особенностей в процессе дизайн-проектирования.

Для выработки алгоритма процесса дизайн-проектирования определены критерии, по которым будет производиться оценка дизайн-решения, непосредственно определяющими направление работы и выступающими в качестве определяющих для дизайнера в процессе создания дизайн-проекта. К таким критериям относятся: социальный, экономический, технологический, производственный, эксплуатационный.

При этом в процессе создания алгоритма используются общенаучные методы, понимание которых позволяет более эффективно осуществлять разработку решения поставленной перед дизайнером задачи.

Литература

1. Лепешкин, И. А. Определение влияния формообразующих факторов на проектирование концептуальных объектов в транспортном дизайне и алгоритм сквозного дизайн-проектирования / И. А. Лепешкин, Е.В. Матершева // Известия МГТУ «МАМИ», № 2(16). – Т. 1. – Москва, 2013.
2. Зайцев, С. А. Система дизайна инновационных легковых автомобилей / С. А. Зайцев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. –Т. 12, № 3 (3). – Тольятти, 2010. –С. 803–807.
3. Сычёва, Т. П. Классификация факторов образно-пластического формообразования легковых автомобилей / Т. П. Сычёва // Вести Ин-та сов. знан. – 2018. – № 3. – С. 68–73.
4. Сычёва, Т. П. Художественно-композиционные факторы, влияющие на формообразование легковых автомобилей / Т. П. Сычёва // Вести Ин-та сов. знан., № 1. – Минск, 2013. – С. 59–64.
5. Сычёва, Т. П. Факторы образно-пластического формообразования в дизайне легковых автомобилей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата искусствоведения по специальности 17.00.06 – техническая эстетика и дизайн. – Минск, 2019.
6. Ившин, К. С. Теоретические и методологические основы дизайна малогабаритных транспортных средств. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 17.00.06 – техническая эстетика и дизайн. – Москва, 2016.

7. Гилев, Н. А. Особенности дизайн-проектирования специализированных транспортных средств/ Пермский национальный исследовательский политехнический университет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dgng.pstu.ru/conf2016/papers/75/>. – Дата доступа: 28.10.2022.

8. Коннович, П. А. Дизайн как основа эффективного проектирования автомобиля / П. А. Коннович, Д. Д. Седнёв // ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси». В сб. Актуальные вопросы машиноведения. – Т. 1. – Минск, 2012.

9. Беккер, М. Г. Введение в теорию систем «местность – машина» / пер. с англ. д-ра техн. наук В. В. Гуськова. – Москва: Машиностроение, 1973. – 245 с.

10. Автомобили грузовые. Общие технические требования : ГОСТ / Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам – Москва.

11. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. /Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии [Электронный источник]. – Москва, 2017. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200160617?section=text/>. – Дата доступа: 29.10.2022.

12. Автомобили скорой медицинской помощи. Технические требования/ Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии [Электронный источник]. – Москва, 2015. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136413?section=text/>. – Дата доступа: 29.10.2022.

13. Машины для городского коммунального хозяйства и содержания дорог специальные. Требования безопасности [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200101100/>. – Дата доступа: 29.10.2022.

UDC 629.113

NECHAIEVA Vladislava V.,
Senior Lecturer
E-mail: vladaa21@gmail.com

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 07 July 2022

SOME APPROACHES IN THE SELECTION OF CRITERIA IN THE DESIGN OF A MULTIFUNCTIONAL WHEEL CHASSIS

The design process is considered as a complex multisystem. The features of the artistic design of multifunctional or specialized vehicles are revealed. The analysis and systematization of the aspects influencing the development of specialized vehicles in various fields of application have been carried out. The analysis was carried out on the basis of specially generalized criteria that determine the process of creating a specialized vehicle.

The production system is characterized by two main stages: design and regulation, with the latter playing a dominant role. When directly highlighting the criteria for analysis in design, one should understand the impossibility of considering them in isolation from economic and engineering imperatives.

Due to the peculiarities of the process of working on the shape of the body and the appearance of the elements of the car for the mass consumer, it should begin with a consideration of the technical, regulatory and economic requirements for the car. These include: safety issues, luggage placement, carrying capacity and driving performance, chassis placement, ventilation and heating, visibility, aerodynamics, manufacturability and pricing.

Keywords: *machine concept, design engineering, specialized or multifunctional vehicle, design features, multisystem, automotive technology, analysis of design project criteria.*

References

1. Lepeshkin, I. A. Determination of the influence of form-forming factors on the design of conceptual objects in transport design and the algorithm of end-to-end design / I.A. Lepeshkin, E.V. Matersheva // *Izvestiya MSTU «MAMI»*, No. 2(16). – Vol. 1. – Moscow, 2013.
2. Zaitsev, S. A. Design system of innovative passenger cars / S. A. Zaitsev // *Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. – No. 3 (3), vol. 12. – Tolyatti, 2010. – P. 803–807.
3. Sycheva, T. P. Classification of factors of figurative-plastic shaping of passenger cars / T. P. Sycheva // *Ve-sti In-ta sov. znan.* – 2018. – No. 3. – P. 68–73.
4. Sycheva, T. P. Artistic and compositional factors influencing the shaping of passenger cars / T. P. Sycheva // *To lead In-ta sov. znan.*, No. 1. – Minsk, 2013. – P. 59–64.
5. Sycheva, T. P. Factors of figurative-plastic shaping in the design of passenger cars. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Art History in the specialty 17.00.06 – technical aesthetics and design. – Minsk, 2019.
6. Ivshin, K.S. Theoretical and methodological foundations of the design of small-sized vehicles. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 17.00.06 – technical aesthetics and design. – Moscow, 2016.
7. Gilev, N. A. Features of design-design of specialized vehicles / Perm National Research Polytechnic University [Electronic resource]. – Access mode: <https://dgng.pstu.ru/conf2016/papers/75/>. – Access date: 28.10.2022.
8. Konnovich, P. A. Design as a basis for effective car design / P. A. Konnovich, D. D. Sednev // GNU «United Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus». In the collection of Topical issues of Tire Science. – Vol. 1. – Minsk, 2012.
9. Becker, M. G. Introduction to the theory of «terrain – machine» systems / Translated from the English by Dr. of Technical Sciences V. V. Guskov. – Moscow: Machine Building, 1973. – 245 p.
10. Trucks. General technical requirements : GOST / USSR State Committee for Product Quality Management and Standards – Moscow.
11. Fire fighting equipment. The main fire trucks. General technical requirements. / Federal Agency for Technical Regulation and Metrology [Electronic source]. – Moscow, 2017. – Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200160617?section=text/>. – Access date: 29.10.2022.
12. Ambulances. Technical requirements/ Federal Agency for Technical Regulation and Metrology [Electronic source]. – Moscow, 2015. – Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200136413?section=text/>. – Access date: 29.10.2022.
13. Special machines for municipal utilities and road maintenance. Safety requirements [Electronic source]. – Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200101100/>. – Access date: 29.10.2022.

ГОЛЬДМАН Г. Э.,
ст. научн. сотр.
E-mail: tt@niit.by

ЯКУБОВИЧ С. П.,
зав. отделом
E-mail: autozd@niit.by

Республиканское унитарное предприятие «Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника», г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 17.07.2022.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Основной целью функционирования маршрутной сети пригородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении (далее – пригородная маршрутная сеть) является удовлетворение потребностей населения в трудовых и культурно-бытовых перемещениях, главным образом, между районным центром и расположенными в пределах этого же района населенными пунктами. Исходя из этого, существующая пригородная маршрутная сеть построена в соответствии с требованиями социальных стандартов таким образом, чтобы обеспечивать прямым автобусным сообщением все поселки городского типа, центры сельских советов, центральные усадьбы сельскохозяйственных организаций, агрогородки и населенные пункты с населением более 20 чел. с районным центром. Основными потребителями услуг по пригородным автомобильным перевозкам пассажиров в регулярном сообщении являются граждане, постоянно проживающие в сельской местности. По этой причине уровень спроса потребителей на услуги по пригородным перевозкам пассажиров во многом определяется численностью сельского населения и особенностями в его расселении с учетом социально-демографической ситуации, складывающейся в конкретных сельских населенных пунктах, сельских Советах (далее – сельсовет), районах.

Ключевые слова: маршрутная сеть, пригородные автомобильные перевозки пассажиров, сельское население, сельский населенный пункт, сельсовет, законодательство.

Введение

Несмотря на то, что сельская местность занимает около 68 % территории, там проживает, по данным на 01.01.2022, около 2023,4 тыс. чел. или 21,9 % от общей численности населения Республики Беларусь [1] (рисунок 1).

Причем численность населения, проживающего в сельской местности, постоянно сокращается: на начало 1980 г. она составляла 4124,9 тыс. чел. (42,6 % от общей численности населения), 1985 г. – 3851,6 тыс. чел. (38,8 %), 1995 г. – 3278,2 тыс. чел. (32,1 %), 2005 г. – 2732,1 тыс. чел. (27,8 %), 2015 г. – 2220,8 тыс. чел. (23,5 %), 2020 г. – 2106,4 тыс. чел. (22,4 %), 2021 г. – 2069,3 тыс. чел. (22,1 %) [2] (рисунок 1). Таким образом, за 1980–2022 гг. численность сельского населения сократилась более чем в 2 раза.

Эта устойчивая тенденция обусловлена ростом концентрации населения в городах за счет миграции из сельской местности граждан трудоспособного возраста, что приводит к снижению рождаемости и, как следствие, к естественной убыли сельского населения. Абсолютное сокращение численности сельского населения вызывает увеличение числа малонаселенных поселений: мельчайших (менее 20 чел.) и мелких (20–50 человек) поселений. Наблюдается тенденция снижения людности сельских поселений, их количества и густоты [3]. В результате мельчайшие и мелкие поселения стали доминирующей формой в системе современного сельского расселения Беларуси на территории всех областей (за исключением Брестской области). В Витебской области мельчайшие и мелкие поселения составляют порядка 70 % всех

сельских поселений [4], а в целом по республике – более 50 % [5].

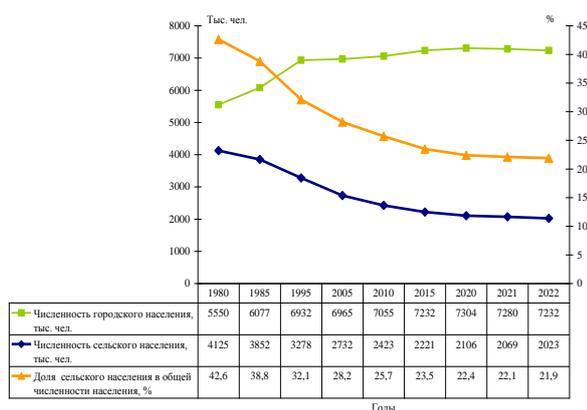


Рисунок 1 – Численность городского и сельского населения Республики Беларусь на начало 1980 г., 1985 г., 1995 г., 2005 г., 2010 г., 2015 г., 2020–2022 гг.

По мере снижения численности сельского населения сокращается и его общая потребность в перемещениях, характеризуемая объемом пригородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении (рисунок 2).

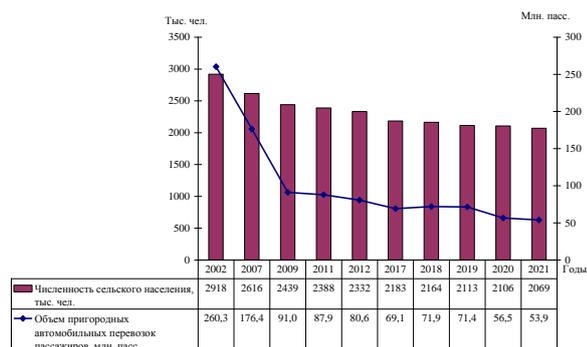


Рисунок 2 – Динамика численности сельского населения и объема пригородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении за 2002 г., 2007 г., 2009 г., 2011–2012 гг., 2017–2021 гг.

Основные проблемы и возможные пути их решения

Коэффициент корреляции между объемом пригородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении и численностью сельского населения за 2002 г., 2007–2021 гг. составил 0,927538, что свидетельствует об относительно высокой степени функциональной зависимости между этими факторами. Причем снижение объема пригородных автомобильных перевозок пассажиров идет опережающими темпами по сравнению со снижением численности сельского населения. Так, за 2007–

2019 гг. объем пригородных автомобильных перевозок снизился с 176,4 млн пасс. (в 2007 г.) до 71,4 млн пасс. (в 2019 г.) или в 2,5 раза, а численность сельского населения за этот же период снизилась – в 1,24 раза (с 2615,6 тыс. чел. в 2007 г. до 2113,5 тыс. чел. в 2019 г.). Таким образом, темп снижения объема пригородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении за 2007–2019 гг. оказался почти в 2 раза выше темпа снижения численности сельского населения. Такие высокие темпы снижения объема пригородных автомобильных перевозок пассажиров обусловлены, главным образом, отменой в 2007 г. социальных льгот для отдельных категорий граждан, в том числе на бесплатный проезд и проезд со скидкой: с 2007 г. по 2009 г. объем пригородных автомобильных перевозок пассажиров снизился в 1,9 раза, а численность населения – в 1,07 раза (рисунок 2). В то же время, в 2009–2019 гг. объем пригородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении снизился в 1,27 раза, что в значительно большей степени соответствует темпу снижения численности сельского населения (в 1,15 раза). В 2020–2021 гг. темпы снижения объема пригородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении в меньшей степени коррелировались с темпом снижения численности сельского населения, поскольку такое снижение объема перевозок было вызвано, прежде всего, неблагоприятными социально-экономическими последствиями пандемии коронавируса COVID-19. По вышеуказанным причинам, которые вызывают снижение спроса, а также с учетом того, что тарифы на пригородные автомобильные перевозки пассажиров в регулярном сообщении формируются на доступном для большинства населения уровне, деятельность по выполнению таких перевозок остается убыточной. По данным о возмещении расходов по пригородным автомобильным перевозкам пассажиров в регулярном сообщении за 2021 г. за счет собственных расходов и субсидий из местных бюджетов, приведенным на рисунке 3, невозмещенная (с учетом субсидий) часть расходов по пригородным автомобильным перевозкам пассажиров в регулярном сообщении за этот период составила 7,5 %, без учета субсидий – 58,5 %. Для сравнения: невозмещенная (с учетом субсидий) часть расходов по пригородным автомобильным перевозкам пассажиров в регулярном сообщении за 2020 г. составила 9,6 % без учета субсидий – 59,8 % (рисунок 3).

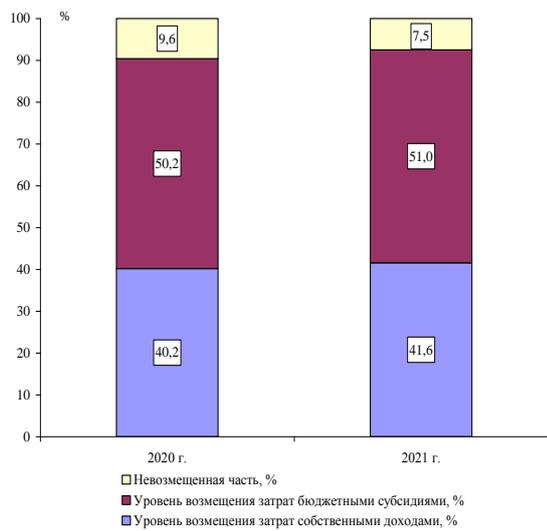


Рисунок 3 – Возмещение расходов по пригородным автомобильным перевозкам пассажиров в регулярном сообщении за 2020–2021 гг.

Из-за недофинансирования организации автомобильного пассажирского транспорта общего пользования в целях сокращения расходов на обслуживание маршрутной сети пригородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении вынуждены закрывать мало востребованные населением, и, следовательно, нерентабельные маршруты и рейсы. Особенно это касается маршрутов, конечными либо промежуточными остановочными пунктами которых являются малонаселенные сельские поселения: в таких поселениях не все дома могут быть заселены, либо заселены сезонно (например, только в летний период), и проживает, как правило, от 20 до 50 человек, в основном – это люди пожилого возраста и, в силу этого, обладающие низкой мобильностью и, как правило, нуждающиеся в социальной помощи или на дому, или в учреждениях социальной защиты. Основные мотивы спроса на транспортные перемещения у этой категории населения, главным образом, связаны с необходимостью посещения объектов торговли для осуществления покупок товаров повседневного спроса и (либо) с посещением учреждений здравоохранения. Вместе с тем, в связи с повышением уровня автомобилизации, реализацией в последние годы государственной социальной политики, направленной на приближение объектов потребительского спроса населения к месту его жительства, оказание социальной и медицинской помощи на дому, либо в условиях стационарных учреждений социальной защиты (круглогодично, либо только в осенне-зимний период) снижается уровень спроса на перемещения от места жительства в районный центр со стороны населения, проживающего в малонаселенных

Изменение мотивов спроса сельского населения на перемещения можно связать также с укрупнением административно-территориальных единиц базового уровня (сельсоветов), которое проводится на протяжении нескольких лет из-за снижения численности населения в соответствии со следующими принципами: сельсоветы с численностью населения менее 1000 чел. упраздняются, а территория и населенные пункты передаются в ведение близлежащему сельсовету. По состоянию на 01.01.2021 и на 01.01.2020 в Республике Беларусь был 1151 сельсовет [2, 6]. Для сравнения: по состоянию на 01.01.1980 и на 1.01.1985 в Республике Беларусь насчитывалось 1506 сельсоветов, на 01.01.2005 – 1388, на 01.01.2011 – 1295, на 01.01.2012 – 1292 [7] (рисунок 4).

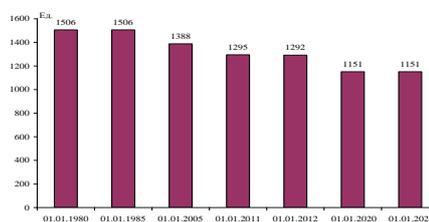


Рисунок 4 – Динамика снижения численности сельсоветов в Республике Беларусь

Центры укрупненных сельсоветов, как правило, являются центральными усадьбами сельскохозяйственных организаций. Помимо исполкома сельсовета (далее – сельисполком) в них расположены объекты социальной инфраструктуры: магазины, почтовые отделения, филиалы банков, врачебные амбулатории и т. п.

В связи с этим у сельского населения возникает потребность, в трудовых и культурно-бытовых перемещениях от места жительства до центра сельсовета. Расстояние таких перемещений зависит от взаимного расположения центра сельсовета и входящих в него населенных пунктов, и может составлять до 30–35 км. Доставка работников сельскохозяйственной организации к месту работы и обратно, а также школьников к месту учебы и обратно, как правило, осуществляется собственным транспортом сельскохозяйственной организации и учреждения образования. Это обусловлено рядом объективных причин. Во-первых, целью функционирования пригородной маршрутной сети является обеспечение транспортных связей, главным образом, между районным центром и расположенными в пределах этого же района населенными пунктами, и по этой причине транспортные связи внутри сельсовета не всегда могут обеспечиваться маршрутной сетью пригородных автомобильных перевозок пассажиров в

регулярном сообщении. Во-вторых, маршрутная пригородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении, а также частота движения автобусов, установленная расписанием таких перевозок, не позволяет в полной мере удовлетворить потребности в трудовых перемещениях сельского населения: работников сельскохозяйственной организации к месту работы и обратно, школьников к месту учебы и обратно.

Вместе с тем, в сложившейся ситуации ограничиваются возможности по обеспечению потребностей в культурно-бытовых перемещениях от места жительства до центра сельсовета у граждан, проживающих в сельской местности, но не являющихся работниками сельскохозяйственных организаций. К решению этой проблемы предлагается подходить комплексно, как за счет мер по совершенствованию форм и методов транспортного обслуживания сельского населения, так и за счет снижения его потребностей в культурно-бытовых перемещениях на территории сельских советов, связанных с необходимостью посещения сельисполкомов, магазинов, отделений связи, амбулаторий. Для чего, в свою очередь в сельской местности необходимо организовать, в связи с укрупнением сельсоветов, проведение административных процедур сельисполкомами по принципу «одного окна», осуществлять прием и выдачу справок и иных документов по месту жительства граждан. Помимо того, следует продолжать политику по предоставлению социальной помощи, оказанию торговых и бытовых услуг, а также услуг связи по месту жительства граждан, проживающих в сельских населенных пунктах.

В качестве одного из вариантов совершенствования форм и методов транспортного обслуживания сельского населения может быть использован зарубежный опыт организации автомобильных перевозок пассажиров в сельской местности по принципу «dial – a – ride», то есть по заказам, но субсидируемым из средств местных бюджетов [8, 9, 10]. Автомобильных перевозок пассажиров по заказам граждан, проживающих в малонаселенных пунктах в сельской местности, или граждан, являющихся членами садовых товариществ, должны выполняться по договору фрахтования и, следовательно, относиться к автомобильным перевозкам в нерегулярном сообщении. В абзацах первом – третьем части восьмой статьи 4 Закона Республики Беларусь от 14 августа 2007 г. № 278-З «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках» (далее – Закон Республики Беларусь

«Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках») данный вид автомобильных перевозок в нерегулярном сообщении не именован, но, в соответствии с абзацем четвертой части восьмой статьи 4 Закона Республики Беларусь «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках», такие перевозки можно отнести к иным видам автомобильных перевозок пассажиров в нерегулярном сообщении, установленным Советом Министров Республики Беларусь, и закрепить этот вид транспортного обслуживания населения в Правилах автомобильных перевозок пассажиров, утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 июня 2008 г. № 972 (далее – Правила автомобильных перевозок пассажиров). В Правилах автомобильных перевозок пассажиров представляется целесообразным установить также порядок организации и выполнения автомобильных перевозок пассажиров по заказам населения, проживающего в малонаселенных пунктах в сельской местности. Потребуется также внести изменения в социальные стандарты обслуживания населения в области транспорта, предусмотренные Системой государственных социальных стандартов по обслуживанию населения республики, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 мая 2003 г. № 724 «О мерах по внедрению системы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения республики». В частности, предлагается изложить графу «Норматив обслуживания» пункта 31 Системы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения республики следующим образом:

«100 процентов выполнения заказов на автомобильные перевозки пассажиров в нерегулярном сообщении» (для населенных пунктов с количеством проживающих от 20 до 50 человек).

Наряду с вышеизложенным, еще одним вариантом совершенствования транспортного обслуживания сельского населения может быть «узаконивание» попутных автомобильных перевозок пассажиров или, иначе говоря, автомобильных перевозок пассажиров в попутном направлении. Не секрет, что такие автомобильные перевозки выполняются и нередко в настоящее время, но неформально, одновременно, например, с выполнением автомобильных перевозок в нерегулярном сообщении, автомобильных перевозок для собственных нужд юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, автомобильных перевозок для личных, семейных, домашних и иных нужд физических лиц.

С целью закрепления в законодательстве условий осуществления деятельности по выполнению автомобильных перевозок пассажиров в попутном направлении представляется целесообразным внести ряд изменений в Закон Республики Беларусь «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках».

1. Внести изменения в статью 4. Виды автомобильных перевозок:

часть седьмую статьи 4 дополнить (после слов «Автомобильные перевозки пассажиров могут выполняться в нерегулярном или регулярном сообщении») словами, «а также в попутном направлении»;

дополнить статью 4 определением понятия «Автомобильные перевозки пассажиров в попутном направлении» (например, как вариант, следующим образом: «Автомобильные перевозки пассажиров в попутном направлении – автомобильные перевозки пассажиров, выполняемые одновременно с выполнением автомобильных перевозок в нерегулярном сообщении, автомобильных перевозок для собственных нужд юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, автомобильных перевозок для личных, семейных, домашних и иных нужд физических лиц.»).

2. Установить основные условия осуществления деятельности по выполнению автомобильных перевозок пассажиров в попутном направлении, которые могут быть следующими.

Автомобильные перевозки пассажиров в попутном направлении выполняются по договору автомобильной перевозки пассажиров. Посадка и высадка пассажиров при выполнении автомобильных перевозок пассажиров осуществляется на остановочных пунктах маршрутов автомобильных перевозок пассажиров, а также в иных местах, не запрещенных для остановки транспортного средства Правилами дорожного движения. Автомобильные перевозки пассажиров, багажа и (или) ручной клади в попутном направлении оплачиваются пассажирами по тарифам, устанавливаемым автомобильным перевозчиком. Для приема оплаты за проезд транспортное средство, выполняющее автомобильные перевозки пассажиров в попутном направлении, должно быть оснащено кассовым оборудованием (кассовым суммирующим аппаратом, включенным в Государственный реестр моделей (модификаций) кассовых суммирующих аппаратов и специальных компьютерных систем, либо программной кассой), используемым в соответствии с законодательством.

Заключение

Автомобильные перевозки пассажиров по заказам населения (по принципу «dial – a – ride»), а также перевозки в попутном направлении должны организовываться местными исполнительными и распорядительными органами, поскольку в их компетенцию входит, согласно абзацу тридцатому статьи 41 Закона Республики Беларусь от 4 января 2010 года № 108-З «О местном управлении и самоуправлении в Республике Беларусь», создание условий для предоставления транспортных услуг населению и организация транспортного обслуживания граждан на соответствующей территории. Полномочия местных исполнительных и распорядительных органов по организации таких автомобильных перевозок пассажиров могут быть конкретизированы в Законе Республики Беларусь «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках». К таким полномочиям может быть отнесено, например, ведение реестра автомобильных перевозчиков, выполняющих автомобильные перевозки пассажиров по заказам населения, а также в попутном направлении на территории соответствующей административно-территориальной единицы. Информационной основой для ведения такого реестра может быть закрепление в Законе Республики Беларусь «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках» обязанностей для автомобильных перевозчиков по уведомлению местных исполнительных и распорядительных органов о начале (окончании) деятельности по выполнению автомобильных перевозок пассажиров по заказам населения или в попутном направлении на территории соответствующей административно-территориальной единицы. В свою очередь порядок уведомления автомобильными перевозчиками местных исполнительных и распорядительных органов о начале (окончании) деятельности по выполнению указанных автомобильных перевозок пассажиров на территории соответствующей административно-территориальной единицы должен устанавливаться Правилами автомобильных перевозок пассажиров.

Прежде чем вносить предлагаемые изменения в законодательство представляется целесообразным реализовать на примере одного или нескольких районов пилотные проекты по организации и выполнению автомобильных перевозок пассажиров по заказам населения, проживающего в малонаселенных пунктах в сельской местности, а также автомобильных перевозок пассажиров в попутном направлении.

Полученный опыт позволит отработать порядок организации и выполнения таких автомобильных перевозок пассажиров и впоследствии закрепить его в законодательстве.

Литература

1. Численность населения на 1 января 2022 г. и среднегодовая численность населения за 2021 год по Республике Беларусь в разрезе областей, районов, городов, поселков городского типа. Статистический бюллетень [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Официальный сайт. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_bulletin/index_46932.

2. Территория и административно-территориальное деление Республики Беларусь на 1 января 2021 г. Статистический ежегодник 2021 [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Официальный сайт. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/d8c/yr1d8w95a75bhnumml7vbg6jqxyih369.pdf>.

3. Анализ демографических процессов в сельских поселениях Беларуси и России / Н. З. Гончарова, О. Б. Тарасова, Г. В. Миренкова // Качество экономического развития: глобальные и локальные аспекты : материалы V Интернет-конф., Ровно – Киев – Днепропетровск, 17–18 июня 2013 г. – Днепропетровск : Била О.К., 2013. – С. 73–75.

4. Трансформация системы расселения Беларуси во второй половине XX – начале XXI в. / И. И. Пирожник, Е. А. Антипова // Вестник БГУ. Сер. 2. 2006. – № 3. – С. 73–78.

5. Состояние и перспективы развития аграрно-экологического туризма в Республике

Беларусь/ В. А. Ганский/ Динамика научных исследований. Экономические науки : материалы конф. 2008 г. – Прага : Образование и наука, 2008.

6. Число сельских Советов на начало периода. Демографическая и социальная статистика. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Официальный сайт. – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search?code=1063066>.

7. Территория и административно-территориальное деление Республики Беларусь на 1 января 2020 г. Статистический ежегодник 2020 [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Официальный сайт. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/c68/c68ec3c1ac53374bedc363044769f2c1.pdf>.

8. Афанасьев, Л. Л. Пассажирыские автомобильные перевозки / Л. Л. Афанасьев [и др.]. – 1986. – С. 137–138.

9. The Village Bus in Kolsillre: passengers do the timetable via a website; also acts as the driver [Электронный ресурс] // Euromontana. Официальный сайт. – Режим доступа: <https://www.euromontana.org/en/project/move-on-green-2/mog-good-practices/>. – Дата доступа – 21.03.2022.

10. Demand related public transport system for 4 villages in South Burgenland [Электронный ресурс] / Euromontana. Официальный сайт – Режим доступа: <https://www.euromontana.org/wp-content/uploads/2014/07/9.5-demand-related-public-transport-system-for-4-villages-in-south-burgenl.pdf> – Дата доступа – 21.03.2022.

GOLDMAN Gennady E.,

Senior Researcher

E-mail: tt@niit.by

YAKUBOVICH Sergey P.,

head of the Department of Research in the field of motor Transport,

E-mail: autozd@niit.by

Republican Unitary Enterprise «Belarusian Research Institute of Transport «Transtehnika»,
Minsk, Republic of Belarus

Received 17 July 2022

THE MAIN DIRECTIONS OF IMPROVING TRANSPORT SERVICES FOR THE RURAL POPULATION

The main purpose of the functioning of the route network of suburban automobile transportation of passengers in regular traffic (hereinafter referred to as the suburban route network) is to meet the needs of the population in labor and cultural and household movements, mainly between the district center and the settlements located within the same district. Based on this, the existing suburban route network is built in accordance with the requirements of social standards in such a way as to provide direct bus service to all urban-type settlements, village council centers, central farmsteads of agricultural organizations, agrotowns and settlements with a population of more than 20 people with a district center. The main consumers of suburban automobile passenger transportation services in regular communication are citizens permanently residing in rural areas. For this reason, the level of consumer demand for suburban passenger transportation services is largely determined by the size of the rural population and the peculiarities in its settlement, taking into account the socio-demographic situation prevailing in specific rural settlements, village councils (hereinafter referred to as the Village Council), districts.

Keywords: route network, suburban automobile transportation of passengers, rural population, rural locality, village council, legislation.

References

1. The population as of January 1, 2022 and the average annual population for 2021 in the Republic of Belarus in the context of regions, districts, cities, urban-type settlements. Statistical Bulletin [Electronic resource] // National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Official website. – Access mode: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_bulletin/index_46932.

2. Territory and administrative-territorial division of the Republic of Belarus as of January 1, 2021 Statistical Yearbook 2021 [Electronic resource] // National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Official website. – Access mode: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/d8c/yr1d8w95a75bhnumml7vbg6jqxyih369.pdf>.

3. Analysis of demographic processes in rural settlements of Belarus and Russia/ N. Z. Goncharova, O. B. Tarasova, G. V. Mirenko-va // Quality

of economic development: global and local aspects : materials of the V Internet Conference, Rivne – Kiev – Dnepropetrovsk, June 17-18, 2013 – Dnepropetrovsk : Bila O.K., 2013. – P. 73–75.

4. Transformation of the settlement system of Belarus in the second half of the XX – beginning of the XXI century / I. I. Pirozhnik, E. A. Antipova // Bulletin of BSU. Ser. 2.2006. – No. 3. – P. 73–78.

5. The state and prospects of agricultural and ecological tourism development in the Republic of Belarus/ V. A. Gansky/ Dynamics of scientific research. Economic Sciences : Materials conf. 2008. – Prague : Education and Science, 2008.

6. Number of village Councils at the beginning of the period. Demographic and social statistics. Interactive information and analytical system for the dissemination of official statistical information [Electronic resource] // National Statistical Com-

mittee of the Republic of Belarus. Official website. – Access mode: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search?code=1063066>.

7. Territory and administrative-territorial division of the Republic of Belarus as of January 1, 2020 Statistical Yearbook 2020 [Electronic resource] // National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Official website. – Access mode: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/c68/c68ec3c1ac53374bedc363044769f2c1.pdf>.

8. Afanasyev, L. L. Passenger automobile transportation / L. L. Afanasyev [et al.]. – 1986. – P. 137–138.

9. The Village Bus in Kolsillre: passengers do the timetable via a website; also acts as the driver [Electronic resource] / Euromontana. Official website. – Access mode: <https://www.euromontana.org/en/project/move-on-green-2/mog-good-practices/>. – Access date: 03/21/2022.

10. Demand related public transport system for 4 villages in South Burgenland [Electronic resource] / Euromontana. Official website – Access mode: <https://www.euromontana.org/wp-content/uploads/2014/07/9.5-demand-related-public-transport-system-for-4-villages-in-south-bur-genl.pdf>. – Access date:– 03/21/2022.

УДК 621.43

БЫСТРЕНКОВ О. С.,

ст. преп.

E-mail: oleg.bystrenkov@mail.ru

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.05.2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ УЛУЧШЕНИЯ ПУСКОВЫХ КАЧЕСТВ ГАЗОДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Затраты времени на вспомогательные операции при эксплуатации двигателя отражаются на эффективности использования автотракторной техники. К вспомогательным операциям относится в том числе и пуск двигателя, который особенно затруднен на холодном двигателе в зимнее время при низких температурах окружающей среды. Хорошие пусковые качества двигателей облегчают эксплуатацию и повышают производительность автомобилей и тракторов.

На пусковые качества двигателя влияет множество параметров, в числе которых: свойства топлива, пусковое число оборотов, температура топливовоздушной смеси на впуске, температура окружающей среды и т. д.

Работы многих моторных и автомобильных заводов, а также научно-исследовательских организаций по улучшению пусковых качеств двигателей направлена в основном на создание специальных жидкостных или воздушных подогревателей, обеспечивающих обций предпусковой разогрев двигателя. Однако разрабатываются и другие вспомогательные средства, легковоспламеняющиеся пусковые жидкости, которые вводятся в двигатель в виде воздушно-жидкостной эмульсии.

Ключевые слова: газовое топливо, дизельное топливо, газодизельный двигатель, пуск двигателя, цетановое число, частота вращения, задержка воспламенения, энергия воспламенения, рабочий процесс, подогреватель.

Введение

Эффективность использования автотракторной техники зависит в том числе и от времени, затрачиваемого на вспомогательные операции [1]. Одной из таких вспомогательных операций является пуск двигателя. Хорошие пусковые качества двигателей облегчают эксплуатацию и повышают производительность автомобилей и тракторов [2].

На пусковые качества двигателя влияет множество параметров, в числе которых: свойства топлива [3], пусковое число оборотов, температура топливоздушная смеси на впуске, температура окружающей среды и т. д.

Особую трудность составляет пуск холодного двигателя в зимний период. Работы многих моторных и автомобильных заводов, а также научно-исследовательских организаций по улучшению пусковых качеств двигателей направлена в основном на создание специальных жидкостных или воздушных подогревателей и других устройств [4], обеспечивающих общую предпусковую подготовку двигателя. Однако разрабатываются и другие вспомогательные средства, легковоспламеняющиеся пусковые жидкости, которые вводятся в двигатель в виде воздушно-жидкостной эмульсии [5].

Основная часть

Цетановое число – характеристика воспламеняемости топлива, определяющая период задержки горения рабочей смеси (т. е. свежего заряда) (промежуток времени от впрыска топлива в цилиндр до начала его горения) [6]. Чем выше цетановое число, тем меньше задержка и тем более спокойно и плавно горит топливная смесь (рисунок 1) [7, 8].

Оптимальную работу современных дизельных двигателей обеспечивают топлива с цетановым числом от 45 до 55. При цетановом числе меньше 40 резко возрастает задержка горения (время между началом впрыскивания и воспламенением топлива) и скорость нарастания давления в камере сгорания, увеличивается износ двигателя. Стандартное топливо характеризуется цетановым числом 48–51, а топливо высшего качества (премиальное) имеет цетановое число 51–55. Согласно стандартам, цетановое число летнего и зимнего дизтоплива должно быть не менее 48 единиц. Кроме того, технические условия для зимних сортов с депрессорными присадками разрешают выпуск арктического топлива с цетановым числом не менее 40.

При цетановом числе больше 60 снижается полнота сгорания топлива, возрастает дымность выхлопных газов, повышается расход топлива.

При более высоком цетановом числе задержка воспламенения значительно уменьшается, давление в цилиндре нарастает более плавно и максимальное значение немного ниже. Топливо сгорает более полно, меньше выбросов, меньше ударных нагрузок на детали двигателя.

Влияние цетанового числа на пуск холодного двигателя показано на рисунке 2.

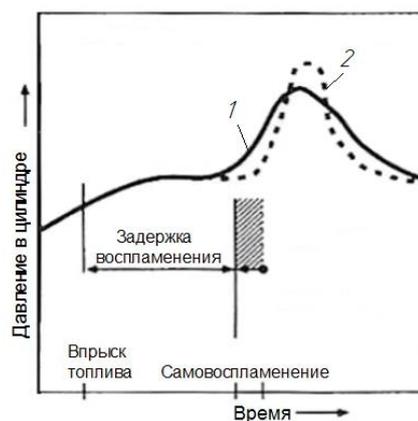


Рисунок 1 – Характер изменения давления в цилиндрах двигателя: 1 – более высокое цетановое число; 2 – более низкое цетановое число

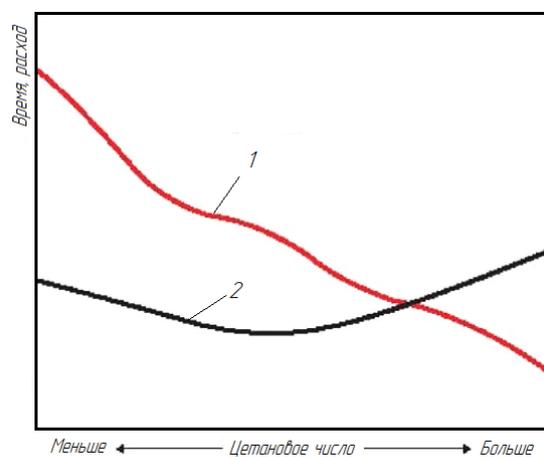


Рисунок 2 – Влияние цетанового числа на пуск двигателя: 1 – время пуска холодного двигателя; 2 – расход топлива

Влияние цетанового числа на минимальную температуру, при которой двигатель будет устойчиво заводиться, показано на рисунке 3.

В цилиндр газодизельного двигателя поступает дизельное и газовое топлива, которые в свою очередь характеризуются собственным цетановым числом.

Конкретная величина цетанового числа во многом определяется компонентами, входя-

щими в состав топлива. Среди них стоит отметить парафины, нафтены, ароматические вещества, олефины и т. д.

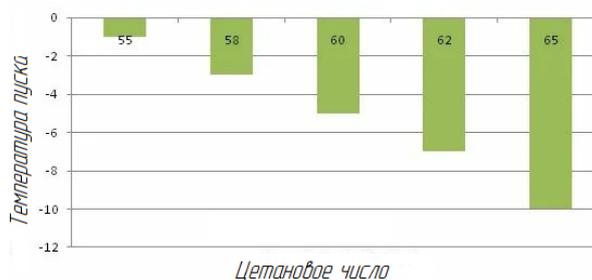


Рисунок 3 – Минимальная температура устойчивого пуска двигателя в зависимости от цетанового числа

Под воздействием высокого содержания парафиновых воспламеняемость будет происходить быстрее, а увеличение доли ароматических – к замедлению этого процесса.

Надо отметить, что к примеру метан также является парафином, однако его цетановое число заметно ниже чем у дизельного топлива. Его присутствие (как и присутствие других газов) в цилиндре двигателя будет снижать цетановое число топлива.

Важным параметром для воспламенения является энергия воспламенения топлива.

Минимальная энергия, необходимая для воспламенения данной горючей смеси, называется энергией воспламенения этой смеси.

Среди моторных топлив водород характеризуется наиболее низкой энергией воспламенения. Также авторы отмечают, что энергия воспламенения водорода на порядок ниже, чем у, к примеру, у бензина или дизельного топлива.

На рисунке 4 приведена зависимость энергии воспламенения различных топлив от коэффициента избытка воздуха α .

Видно, что по характеру зависимости от состава смеси кривые практически идентичны, при этом в области стехиометрических смесей минимальная энергия воспламенения водорода (0,02 МДж) в 10–15 раз ниже, чем у углеводородных топлив.

Энергия воспламенения дизельного топлива ниже, чем у газовых топлив. Соответственно в цилиндре газодизельного двигателя от сжатия будет воспламеняться только оно, и, следовательно, необходимо обеспечить необходимые условия его воспламенения (доступ кислорода и др.).

К моменту начала сгорания в цилиндре газодизельного двигателя находится смесь воздуха, газового топлива и дизельного топлива. Вследствие перемешивания свежего заряда частицы дизельного топлива попадают то в область с газовым топливом, то в область с воздухом. При

попадании частиц дизельного топлива в область с газовым топливом на их поверхности образуется слой молекул метана вследствие адсорбции (самопроизвольный процесс увеличения концентрации растворенного вещества у поверхности раздела двух фаз) (рисунок 5).

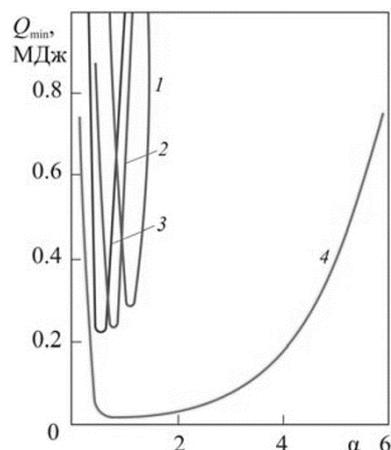


Рисунок 4 – Зависимость энергии воспламенения горючих смесей от коэффициента избытка воздуха: 1 – метан; 2 – пропан; 3 – гексан; 4 – водород

Адсорбцию в случае, когда требуется подчеркнуть природу сил взаимодействия, называют физической адсорбцией.

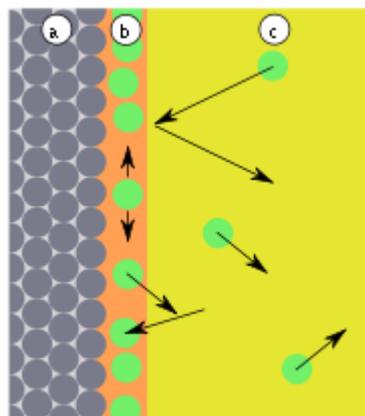


Рисунок 5 – Образование адсорбционного слоя: а – адсорбент, б – адсорбат, с – адсорбтив

Физическая адсорбция является обратимым процессом, условие равновесия определяется равными скоростями адсорбции молекул адсорбтива P на вакантных местах поверхности адсорбента S^* и десорбции – освобождения адсорбата из связанного состояния $S-P$:



уравнение равновесия в таком случае:

$$K = \frac{[S - P]}{[S^*] \cdot [P]},$$

где K – константа равновесия; $[S - P]$ и $[S^*]$ – доли поверхности адсорбента, занятые и незанятые адсорбатом; $[P]$ – концентрация адсорбтива.

Количественно процесс физической мономолекулярной адсорбции в случае, когда межмолекулярным взаимодействием адсорбата можно пренебречь, описывается уравнением Ленгмюра:

$$\theta = \frac{\alpha \cdot P}{1 + \alpha \cdot P},$$

где θ – доля площади поверхности адсорбента, занятая адсорбатом; α – адсорбционный коэффициент Ленгмюра; P – концентрация адсорбтива.

Поскольку $[S - P] = \theta$ и, соответственно, $[S^*] = 1 - \theta$, уравнение адсорбционного равновесия может быть записано следующим образом:

$$K = \frac{\theta}{(1 - \theta) \cdot P}.$$

Для полноценного воспламенения дизельного топлива от сжатия с последующим воспламенением газового топлива к частицам дизельного топлива необходим свободный доступ воздуха (кислорода воздуха). Понятно, что при нахождении частиц дизельного топлива в среде газового топлива возгорания происходит не будет из-за отсутствия воздуха (кислорода воздуха) (рисунок 6).

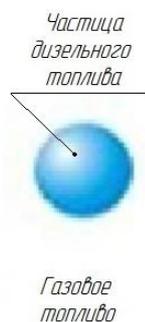


Рисунок 6 – Частица дизельного топлива в среде газового топлива

Соответственно для начала процесса горения частица дизельного топлива должна контактировать с воздухом или целиком находиться в воздушной среде. Частицы дизельного топлива, которые после подачи их в цилиндр

двигателя и сжатия оказались сразу в среде воздуха будут беспрепятственно возгораться. Однако та часть частиц, которая побывала в среде газового топлива попадет в среду воздуха с уже образовавшимся на их поверхности адсорбционным слоем (рисунок 7).

Соответственно должного возгорания дизельного топлива происходить не будет.

Данная оболочка вокруг частицы дизельного топлива, состоящая из молекул газового топлива, будет препятствовать доступу кислорода к дизельному топливу (рисунок 8).



Рисунок 7 – Образование адсорбционного слоя на частице дизельного топлива



Рисунок 8 – Недостаток кислорода для возгорания дизельного топлива

Возможными путями улучшения пуска холодного двигателя могут стать:

- 1) пуск двигателя на дизельном топливе;
- 2) увеличение величины подаваемой в цилиндр двигателя запальной порции дизельного топлива на пуске;
- 3) применение веществ (присадок) снижающих адсорбцию;
- 4) применение веществ (присадок) повышающих цетановое число;
- 5) переход к предкамерному или вихрекамерному смесеобразованию;
- 6) интенсификация перемешивания топлив и воздуха в цилиндре двигателя (к примеру, за счет профилирования впускных каналов), с целью дробления капель дизельного топлива о воздушно-газовые потоки в цилиндре двигателя, что может привести уменьшению времени

контакта поверхности капле с метаном и увеличению времени контакта капле с воздухом (кислородом воздуха);

7) использование свечей накаливания;

8) подогрев впускного коллектора.

Дополнительным вариантом для улучшения пуска газодизельного двигателя может стать применение форкамерного смесеобразования с впрыском запальной порции дизельного топлива в форкамеру, конструктивная реализация которого представлена на рисунке 9.

На блок цилиндров 1 устанавливается головка блока цилиндров 11. В цилиндре двигателя находится поршень 2, который, через шатун, соединен с коленчатым валом двигателя (не показаны). В головке блока цилиндров 11 находятся впускной канал 6 и впускной клапан 8, а также впускной канал 3 и впускной клапан 12, предназначенные для подачи рабочей смеси в цилиндр двигателя и форкамеру соответственно. Выпускной канал и выпускной клапан, предназначенные для отвода отработавших газов из цилиндра двигателя, на рисунке не показаны. Форсунка 7 установлена в головке блока цилиндров 11 таким образом, чтобы ее распылитель располагался во впускном канале 6 над

впускным клапаном 8. Форсунка 13 устанавливается таким образом, чтобы ее распылитель находился в форкамере 14. Форкамера 14 соединена узким каналом с цилиндром двигателя. В форкамере условия для воспламенения запальной порции дизельного топлива окажутся лучше, чем в основной камере сгорания. Расчетная модель представлена на рисунке 10.

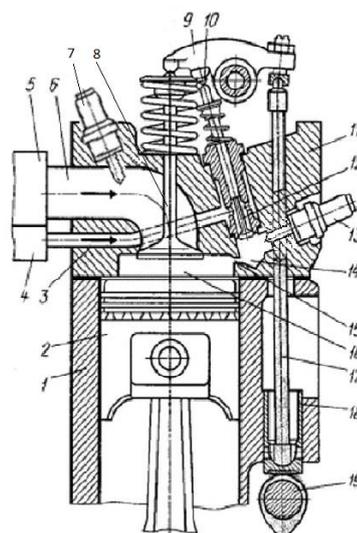


Рисунок 9 – Газодизельный двигатель с форкамерным зажиганием

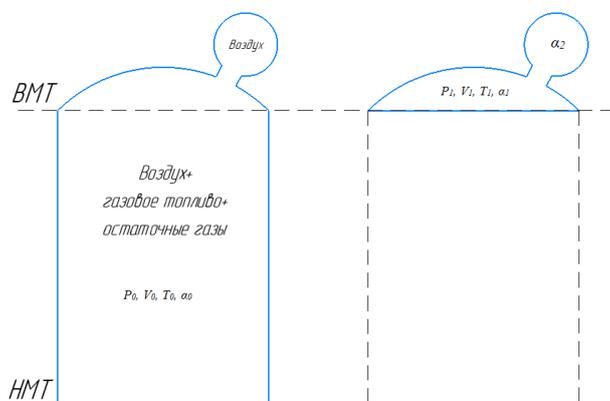


Рисунок 10 – Расчетная модель

Применение двух клапанов улучшит наполнение цилиндра, два потока воздуха из основного клапана и из клапана форкамеры обеспечат более качественную подготовку рабочей смеси к воспламенению, что отразится в более качественном смешении топлива и воздуха. Кроме того, клапан в форкамере позволит пропустить саму форкамеру от остаточных газов. На такте сжатия в цилиндре двигателя окажется смесь газового топлива, воздуха и остаточных газов. В форкамере будет только чистый воздух. В процессе сжатия часть газового топлива с воздухом и отработавшими газами вытиснится из основной камеры в форкамеру. Запальная порция дизельного топлива будет впрыскиваться в форкамеру за 40 град. п. к. в. до ВМТ.

Если предположить, что в основную камеру сгорания газовое топливо было подано с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_0 = 1,4$, то в форкамере к моменту воспламенения дизельного топлива коэффициент избытка воздуха α_2 по отношению к дизельному топливу окажется 1,6–1,7 в зависимости от объема форкамеры, что выше, чем если бы запальная порция впрыскивалась в основную камеру. Кроме того, в форкамере коэффициент остаточных газов окажется ниже на 20–40 %.

Выводы

Проведен анализ условий протекания рабочего процесса газодизельного двигателя на ре-

жиме пуска. Выявлены факторы, в существенной степени влияющие на данный процесс. Показан характер их влияния.

Проанализированы возможные пути улучшения пусковых качеств газодизельного двигателя. Предложен способ реализации рабочего процесса газодизельного двигателя с применением форкамерного зажигания. Данное решение направлено на улучшении пусковых качеств газодизельного двигателя. В форкамере условия для воспламенения запальной порции дизельного топлива окажутся лучше (коэффициент избытка воздуха окажется более высоким), чем в основной камере сгорания.

Литература

1. Микулин, Ю. В. Пуск холодных двигателей при низкой температуре / Ю. В. Микулин, В. В. Карницкий, Б. А. Энглин. – М.: Машиностроение, 1971. – 216 с.

2. Минкин, М. Л. Пуск автотракторных дизелей / М. Л. Минкин. – М.: Машгиз, 1948. – 124 с.

3. Нефтепродукты. Свойство, качество, применение. Справочник / под общ. ред. Б. В. Лосикова. – М.: Химия, 1966. – 776 с.

4. Минкин, М. Л. Пусковые устройства автомобильных двигателей / М. Л. Минкин. – М.: Машгиз, 1961. – 140 с.

5. Карницкий, В. В. Пуск холодных двигателей с помощью легковоспламеняющейся жидкости / В. В. Карницкий, М. Л. Минкин // Автомобильная пром-сть. – 1965. – № 11. – С. 10–15.

6. Межгосударственный стандарт. Топливо дизельное. Технические условия: ГОСТ 305-82. – Введ. 01.01.2015. – М.: Стандартинформ, 2014. – 15 с.

7. Энглин, Б. А. Влияние цетанового числа дизельных топлив на пуск двигателя / Б. А. Энглин [и др.] // Автомобильная промышленность. – 1965. – № 8. – С. 14–19.

8. Цетановое число. Подробное объяснение важной характеристики дизельного топлива! [Электронный ресурс] / Oilchoice.RU. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru>. – Дата доступа: 18.10.2021.

UDC 621.43

BYSTRENKOV Oleg S.,

Senior Lecturer

E-mail: oleg.bystrenkov@mail.ru

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 May 2022

INVESTIGATION OF WAYS TO IMPROVE THE STARTING QUALITIES OF A GAS-DIESEL ENGINE

The time spent on auxiliary operations during the operation of the engine affects the efficiency of the use of automotive equipment. Auxiliary operations include starting the engine, which is especially difficult on a cold engine in winter at low ambient temperatures. Good starting qualities of engines make it easier to operate and increase the productivity of cars and tractors.

The starting qualities of the engine are affected by many parameters, including: fuel properties, starting speed, temperature of the fuel-air mixture at the intake, ambient temperature, etc.

The work of many motor and automobile plants, as well as research organizations to improve the starting qualities of engines is mainly aimed at creating special liquid or air heaters that provide general pre-start heating of the engine. However, other auxiliary means are also being developed, flammable starting fluids that are introduced into the engine in the form of an air-liquid emulsion.

Keywords: gas fuel, diesel fuel, gas-diesel engine, engine start, cetane number, speed, ignition delay, ignition energy, working process, heater.

References

1. Mikulin, Yu.V. Start of cold engines at low temperature / Yu. V. Mikulin, V. V. Karnitsky, B. A. Englin. –M.: Mashinostroenie, 1971. – 216 p.

2. Minkin, M.L. Start-up of automotive vehicles / M. L. Minkin. – Moscow: Mashgiz, 1948. – 124 p.

3. Petroleum products. Property, quality, application. Handbook / under the general editorship of B. V. Losikov. – M. : Chemistry, 1966. – 776 p.

4. Minkin, M. L. Starting devices of automobile engines / M. L. Minkin. – M. : Mashgiz, 1961. – 140 p.

5. Karnitsky, V. V. Start of cold engines with the help of flammable liquid / V. V.Karnitsky, M.

L.Minkin // Automotive industry. – 1965. – № 11. – p. 10–15.

6. Interstate standard. Diesel fuel. Technical conditions: GOST 305-82: Introduction. 01.01.2015. – Moscow: Standartinform, 2014. – 15 p.

7. Englin, B. A. Influence of cetane number of diesel fuels on engine start / B. A. Englin [et al.] // Automotive industry. – 1965. – No. 8. – P. 14–19.

8. Zen.yandex.ru [Electronic resource]. – Access mode: Cetane number. A detailed explanation of the important characteristics of diesel fuel! | Oil-choice.EN | Yandex Zen (yandex.ru) – Access date: 18.10.2021(in Russian).

УДК 630.377.44

КЛОКОВ Д. В., канд. техн. наук, доц.,
доцент каф. «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»¹
E-mail: klokov_dm@bntu.by

ЛЕОНОВ Е. А., канд. техн. наук, доц.,
доцент²
E-mail: debarger13@rambler.ru

ГАРАБАЖИУ А. А., канд. техн. наук, доц.,
доцент²
E-mail: garabazhiu_aa@bntu.by

ЛЕШКЕВИЧ А. Ю., канд. техн. наук, доц.,
доцент каф. «Инженерная графика машиностроительного профиля»¹
E-mail: leshkevich_ayu@bntu.by

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 16.09.2022

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИЦЕПНОГО ФОРВАРДЕРА «БЕЛАРУС» ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ МАНЕВРЕННОСТИ И ПРОХОДИМОСТИ

В статье рассматривается оценка основных свойств использования прицепной погрузочно-транспортной машины в типичных условиях эксплуатации с применением разработанных методик. Машина служит для более эффективной заготовки сортиментов на рубках ухода. Эксплуатационные свойства прицепного форвардера в значительной степени зависят от его основных компоновочных параметров: осевых нагрузок, базы, размещения элементов технологического оборудования. Для оценки маневренности был проведен анализ существующей сети дорог, просек и различных трасс.

Максимальный процент поврежденности древостоя соответствует наихудшему алгоритму движения машины, при котором приходится проезжать все возможные промежутки между растущими деревьями. Расчет габаритной полосы движения (ГПД) при повороте форвардеров на различный угол с различными режимами движения проводился для исследования влияния конструктивных параметров прицепных форвардеров на вписываемость в заданную габаритную зону, определяемую эксплуатационными условиями. В случае учета при проведении расчетов бокового увода шин указанные показатели ухудшаются в пределах, не превышающих 4 %. Проведенный анализ показателей опорной проходимости позволил рекомендовать оснащение погрузочно-транспортной машины шинами различного типоразмера, при возможности ее круглогодичная эксплуатация на лесных почвах без ограничений, как по величине давления на грунт, так и по колееобразованию. На лесных почвах со слабой несущей способностью, характеризующихся избыточным увлажнением (торфяно-болотно-глеевые), эксплуатация машины возможна лишь в зимний период либо требуется использование специальных гусеничных лент. Полученные новые данные по эксплуатационным свойствам прицепного форвардера в условиях эксплуатации лесохозяйственных и лесозаготовительных предприятий Республики Беларусь могут быть использованы при создании новых машин.

Ключевые слова: движитель, лесная машина, форвардер, технологическое оборудование.

Введение

В настоящее время ОАО «МТЗ» уже создан ряд лесных машин, оправдавших себя в эксплуатации. Созданы и серийно выпускаются трелевочная BELARUS МУЛ-1221 и погрузочно-транспортные машины BELARUS МЛПТ-344, МЛ-131 [1–2].

Указанные машины успешно эксплуатируются на рубках главного пользования. Однако для более эффективной заготовки сортиментов на рубках ухода требуются, в зависимости от конкретных природно-производственных условий, различные варианты погрузочной и трелевочной техники, в том числе и варианта прицепного форвардера. В связи с этим реализация машины по схеме – «лесохозяйственный вариант трактора BELARUS МУЛ-82.2 (МУЛ-1221) + прицепная платформа с гидроманипулятором», является актуальным [3–5].

Основная часть

Прицепная погрузочно-транспортная машина включает лесохозяйственный вариант трактора «Беларус» с доработками, обеспечивающими размещение системы управления манипулятором, реверсирование рабочего места оператора, выполнение требований безопасности к лесозаготовительным машинам, а также одноосный полуприцеп с активным приводом колес, гидроманипулятором, грузовой платформой для транспортировки круглых лесоматериалов длиной от 2 до 6 метров, стойками, кониками и элементами ограждения.

Соединение трактора с полуприцепом осуществляется с помощью гидрофицированного крюка.

Пульт управления гидроманипулятором установлен со стороны задней стенки кабины

трактора таким образом, чтобы при повороте сиденья обеспечивалось удобство работы гидроманипулятором.

Эксплуатационные свойства прицепного форвардера в значительной степени зависят от его основных компоновочных параметров: осевых нагрузок, базы, размещения элементов технологического оборудования. Полученные в результате компоновочного расчета опорные реакции (осевые нагрузки) учитывались при оценке устойчивости, управляемости, проходимости, тягово-скоростных и тормозных свойств.

Прицепные форвардеры без силовых гидроцилиндров поворота в сцепном устройстве рассмотрены в вариантах, когда прицепными звеньями являются двухосные полуприцепы с варьированием величины их продольной базы и длины перевозимых сортиментов.

В рассматриваемых случаях минимальный радиус поворота и как следствие ширина габаритной полосы зависит от двух основных параметров – базы и угла поворота управляемых колес.

Вычислительный процесс моделирования криволинейного движения включает два основных этапа – формирование управляющей функции (режима поворота) и вычисление параметров движения (координат характерных точек).

Расчет габаритной полосы движения (ГПД) при повороте форвардеров на различный угол с различными режимами движения проводился для исследования влияния конструктивных параметров форвардеров на вписываемость в заданную габаритную зону, определяемую эксплуатационными условиями. Известно, что минимальные радиусы закруглений технологических проездов в условиях лесозаготовок составляют 8 м. Показатели маневренности

прицепных погрузочно-транспортных машин оцениваются по результатам их расчетной оценки при движении машины на повороте на угол 90° , 180° и 360° (рисунок 1 и 2).

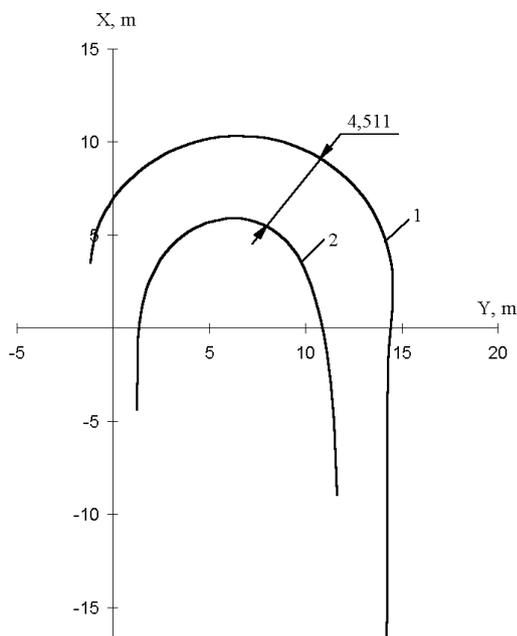


Рисунок 1 – Кинематика движения прицепного форвардера без силовых гидроцилиндров поворота на 180° :
1 – траектория наружной точки машины;
2 – траектория внутренней точки

Рассмотрим показатели маневренности прицепных форвардеров без силовых гидроцилиндров поворота. Расчет оценивались компоновочные схемы сортиментовозов в составе тягача с двухосным полуприцепом.

Анализ результатов расчета показателей маневренности погрузочно-транспортных машин без гидроуправляемого дышла показывает, что увеличение длины платформы полуприцепа на 1,2 м не оказывает существенного влияния на их значения. В обоих случаях, как для базового, так и для удлиненного вариантов, ширина габаритной полосы движения составляет соответственно при круговом движении и при поворотах на 180° и 90° – 4,693, 4,511 и 3,865 м. Исходя из этого можно указать приемлемые границы коридора движения машины по лесосеке удовлетворяющие условиям успешного проведения лесозаготовительных работ. Для исследуемого варианта машины данные значения будут варьироваться в пределах 3,5–3,7 м. В случае учета при проведении расчетов бокового увода шин указанные показатели ухудшаются в пределах, не превышающих 4 %.

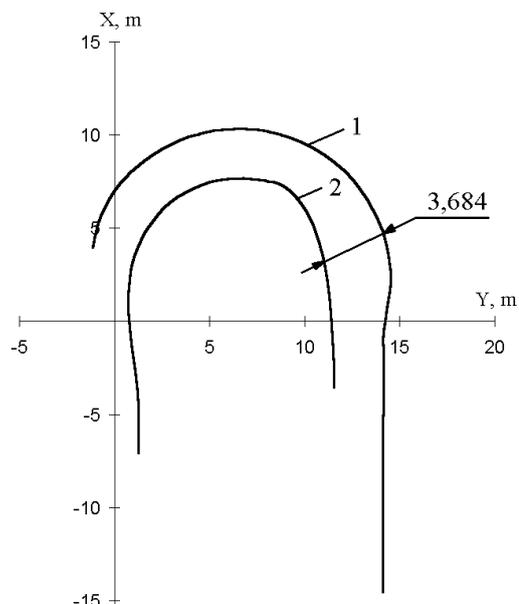


Рисунок 2 – Кинематика движения прицепного форвардера с силовыми гидроцилиндрами поворота на 180° :
1 – траектория наружной точки машины;
2 – траектория внутренней точки

При обосновании параметров лесных машин исключительно важное значение имеет оценка их экологической совместимости с лесной средой и, в частности, оценка воздействия на лесные почво-грунты. К показателям, оценивающим воздействие движителей лесных машин на почву, относятся давление на грунт, площадь контакта движителей и пачки с опорной поверхностью, колееобразование, степень уплотнения и минерализации лесных площадей.

Для удобства представления полученных результатов по оценке опорной проходимости лесных машин на базе прицепной погрузочно-транспортного агрегата разработана номограмма [6], отображающая зависимость давления на опорную поверхность q (квадрант II), глубины колеи h (квадрант III) в зависимости от нагрузки на шину P_k . Для сравнения, как ограничивающий фактор, в квадранте I приведена несущая способность лесных почв. Номограмма позволяет оценивать параметры проходимости, задавая любой из приведенных на ней факторов в качестве исходного. Для этого в квадранте IV проводятся линии связи, которые взаимоувязывают категорию лесных почв с параметрами глубины колеи, нагрузкой на колеса (мосты) и давлением движителя.

Проведенный анализ показателей опорной проходимости позволил рекомендовать оснащение погрузочно-транспортной машины шинами 420/70R24 Бел-90LS (передний мост трактора), 520/70R38LS Бел-111 (задний мост трактора) и 16.5/70-18 (тележка прицепа). В этом варианте шин возможна ее круглогодичная эксплуатация на I-II категориях лесных почв без

ограничений, как по величине давления на грунт, так и по колееобразованию.

На лесных почвах с несущей способностью 20 кПа и менее, характеризующихся избыточным увлажнением (торфяно-болотно-глеевые), эксплуатация машины возможна лишь в зимний период либо требуется использование специальных гусеничных лент. На почвах IV категории, составляющих 23 % от общей лесопокрытой площади, в весенне-осенний период эксплуатация машины будет ограничена и сопровождаться быстрым разрушением растительного (гумусового) слоя и образованием глубокой колеи на волоках при неоднократных проходах машины.

Заключение

По нашему мнению, применение для лесных целей шасси с использованием различного навесного и прицепного технологического оборудования позволяет решить целый ряд задач на заготовке древесины с учетом необходимых лесоводственных и экологических требований [6–7].

Литература

1. Леонов, Е. А. Технология лесозаготовок и переработки древесины : учебно-методическое пособие / Е. А. Леонов, Д. В. Клоков. – Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2018. – 231 с.

2. Федоренчик, А. С. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ : учебно-методическое пособие / А. С. Федоренчик, Д. В. Клоков, Е. А. Леонов. – Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2016. – 204 с.

3. Клоков, Д. В. Оборудование лесопромышленных предприятий. Лабораторный практикум : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 01 «Машины и оборудование лесной промышленности» / Д. В. Клоков, И. В. Турлай, Е. А. Леонов. – Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2015. – 200 с.

4. Golyakevich, S. Workload estimation of harvesters during the operations of work cycle / S. Golyakevich, A. Goronovsky // Transport. – 2013. – Vol. 28. – No. 3. – P. 322–329.

5. Dag Fjeld & Dag Fjeld & Øivind Østby-Berntsen (2020) The effects of an auxiliary axle on forwarder rut development – a Norwegian field study, International Journal of Forest Engineering, 31:3, 192-196, DOI: 10.1080/14942119.2020.1765645.

6. Особенности оценки эксплуатационных свойств прицепного форвардера «Беларус» при проведении лесозаготовительных работ / Д. В. Клоков [и др.] // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 6–7 июня 2019 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 107–112.

7. Клоков, Д. В. Обоснование параметров и оценка динамических показателей лесной колесной погрузочно-транспортной машины: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01: защищена 27.12.2001 / Д. В. Клоков. – Минск, 2001. – 166 с.

KLOKOV Dmitriy V., Ph.D. in Eng., As. Prof.,
Associate Professor¹
E-mail: klokov_dm@bntu.by

LEONOV Evgeniy A., Ph.D. in Eng., As. Prof.,
Associate Professor²
E-mail: debarger13@rambler.ru

GARABAZHIU Aleksandr A., Ph.D. in Eng., As. Prof.,
Associate Professor²
E-mail: garabazhiu_aa@bntu.by

LESHKEVICH Aleksandr Yu., Ph.D. in Eng., As. Prof.,
Associate Professor¹
E-mail: leshkevich_ayu@bntu.by

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

Received 16 September 2022

EVALUATION OF THE OPERATIONAL PROPERTIES OF THE «BELARUS» TRAILER FORWARDER IN TERMS OF MANEUVERABILITY AND CROSS-COUNTRY ABILITY

The article considers the assessment of the main properties of the use of a trailed loading and transport vehicle in typical operating conditions using the developed techniques. The machine is used for more efficient harvesting of wood at logging operations for forest care. The operational properties of a trailed forwarder largely depend on its basic layout parameters: axial loads, base, placement of elements of technological equipment. To assess maneuverability, an analysis of the existing network of roads, glades and various routes was carried out. The maximum percentage of damage to the stand corresponds to the worst algorithm of the forwarder's movement, in which it is necessary to pass all possible gaps between growing trees. The calculation of the overall traffic lane (GPA) when turning forwarders at different angles with different driving modes was carried out to study the influence of the design parameters of trailed forwarders on the fit into a given dimensional zone determined by operational conditions. In the case of taking into account the lateral withdrawal of tires during calculations, these indicators deteriorate within the limits not exceeding 4 %. The analysis of the indicators of the supporting patency allowed us to recommend equipping the loading and transport vehicle with tires of various sizes, if possible, its year-round operation on forest soils without restrictions, both in terms of ground pressure and track formation. On forest soils with weak bearing capacity, characterized by excessive moisture (peat-marsh-gley), the operation of the machine is possible only in winter or requires the use of special caterpillar belts. The obtained new data on the operational properties of the trailed forwarder in the conditions of operation of forestry and logging enterprises of the Republic of Belarus can be used when creating new machines.

Key words: *wheel mover, logging machine, forwarder, technological equipment.*

References

1. Leonov, E. A. Technology of logging and wood processing : an educational and methodological manual / E. A. Leonov, D. V. Klokov. –

Minsk : Belarusian State Technological University, 2018. – 231 p.

2. Fedorenchik, A. S. Technology and equipment of logging and forestry works: an educational

and methodological manual / A. S. Fedorenchik, D. V. Klokov, E. A. Leonov. – Minsk : Belarusian State Technological University, 2016. – 204 p.

3. Klokov, D. V. Equipment of timber industry enterprises. Laboratory workshop : educational and methodical manual for students of specialty 1-36 05 01 «Machinery and equipment of the forest complex» specialization 1-36 05 01 01 «Machinery and equipment of the forest industry» / D. V. Klokov, I. V. Turlai, E. A. Leonov. – Minsk : Belarusian State Technological University, 2015. – 200 p.

4. Golyakevich, S. Workload estimation of harvesters during the operations of work cycle / S. Golyakevich, A. Goronovsky // Transport. – 2013. – Vol. 28. – No. 3. – P. 322–329.

5. Dag Fjeld & Øivind Østby-Berntsen (2020) The effects of an auxiliary axle on forwarder rut

development – a Norwegian field study, International Journal of Forest Engineering, 31:3, 192–196, DOI: 10.1080/14942119.2020.1765645.

6. Features of the evaluation of operational properties of the Belarus trailer forwarder during logging operations / D. V. Klokov [et al.] // Energy efficiency and energy saving in modern production and society : materials of the international scientific and practical conference, Voronezh, 06–07 June 2019. – Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2019. – P. 107–112.

7. Klokov, D. V. Substantiation of parameters and evaluation of dynamic indicators of a forest wheeled loading and transport vehicle: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.21.01: protected on 27.12.2001 / D. V. Klokov. – Minsk, 2001. – 166 p.

УДК 656.072+629.34-83

КАРАСЁВА М. Г.,

ст. преп.

E-mail: mkaraseva@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 25.11.2022

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫБОРА ПАССАЖИРАМИ МАРШРУТА ГОРОДСКОЙ ПОЕЗДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ПЕРСОНАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

В статье излагается разработанный автором метод прогнозирования выбора пассажирами маршрута городской поездки с использованием средств персональной мобильности (СПМ). Результаты такого прогнозирования необходимы для сравнения вариантов перспективного развития городских транспортных систем, включающих СПМ, а также при проектировании новых транспортных систем.

При выборе маршрута поездки горожанин оценивает и сопоставляет не только затраты времени и денежные затраты на передвижение, но и множество других факторов, в том числе виды транспорта, интенсивность движения, цель поездки, расположение остановочного пункта, удобство пересадки, график работы транспорта, удобство оплаты проезда и т.д. Результаты оценки также будут зависеть от категории самого пассажира и целей его поездки.

Задача о выборе маршрута горожанином может быть решена на основе сравнения значений интегрального показателя, рассчитываемых для каждого из вариантов маршрута. Интегральный показатель учитывает не только денежные затраты и затраты времени на поездку, но и формализует субъективную оценку пассажирами многообразных условий поездки.

Ключевые слова: средства персональной мобильности, городские пассажирские перевозки, прогнозирование, транспортная система, организация дорожного движения.

Введение

Устойчивое и эффективное функционирование рынка городских пассажирских перевозок является необходимым условием улучшения уровня жизни населения. В настоящее время во всем мире, и в Республике Беларусь, в частности, средства персональной мобильности являются инновационным фактором, оказывающим влияние на дальнейшее развитие городских транспортных систем. Государство тоже уделяет достаточное внимание развитию средств персональной мобильности, 18 апреля 2022 года Президент подписал Указ № 145 «О совершенствовании организации дорожного движения» [1]. Указ принят для повышения безопасности на дорогах республики, стимулировании использования СПМ в частности и электро-транспорта в целом. Одно из новшеств касается электросамокатов, гироскутеров, моноколес, сигвеев и прочих устройств. Для них введено обобщенное понятие «средство персональной мобильности» и определен порядок использования.

В связи с обозначившимися перспективами инновационного развития СПМ и адаптации городской инфраструктуры для их использования, одной из актуальнейших задач является задача прогнозирования поведения городских жителей при выборе варианта маршрута передвижения, включающего использование СПМ. Результаты такого прогнозирования необходимы для сравнения вариантов перспективного развития городских транспортных систем, включающих СПМ, а также при проектировании новых транспортных систем.

Развитие СПМ в Республике Беларусь и за рубежом

В городской среде популярность СПМ растет с каждым днем. Они в основном используются для передвижения на работу, учебу, посещение магазина, передвижения для визитов к друзьям или родственникам, для отдыха в черте города и другое.

Развитие инноваций в области СПМ на электрической тяге привело к появлению таких средств, как электро-самокат, гироскутер, моноколесо, электровелосипед и др. Электросамокатом считается средство передвижения на двух колесах с электромотором. Гироскутер – уличное электрическое транспортное средство, выполненное в форме двух соединенных поперечных площадок для ступней, подвижных относительно друг друга, с колесами по бокам. Использует электродвигатели, питаемые от электроаккумулятора, и ряд гироскопических датчиков для самобалансировки и поддержания

горизонтального положения площадки для ног. Моноколесо – это электрический самобалансирующийся уницикл (моноцикл) с одним колесом и расположенными по обе стороны от колеса подножками. Моноколесо является глубокой модернизацией Segway (рус. «Сигвэй») – электрическое самобалансирующееся транспортное средство компании Segway Inc. (рус. «Сегвэй Инк.») с двумя колесами, расположенными по обе стороны от водителя, внешне напоминающее колесницу. Электро-велосипед представляет собой велосипед с электрическим приводом, который частично или полностью обеспечивает его движение.

Особенно бурное развитие СПМ, в первую очередь в крупных и больших городах, началось с приходом в эту сферу «шеринговых» компаний, осуществляющих функции предоставления их в аренду (прокат). Необходимо обратить внимание, что СПМ перестает быть исключительно сезонным транспортом, никого сегодня не удивит человек на велосипеде зимой.

Использование СПМ в транспортной системе города несет в себе ряд преимуществ:

- в ряде случаев наблюдается существенное сокращение времени, затрачиваемого горожанами на проезд.

- помимо экономии времени в ряде случаев исключается передвижение на автобусе, это означает: что не используется транспорт с двигателем внутреннего сгорания и как следствие сокращаются выбросы CO₂;

- у горожанина появляется свободное от ожидания транспорта и передвижение в самом транспорте время;

- разгружается дорожная сеть и повышается скорость движения транспортного потока.

Таким образом, использование средств персональной мобильности и учет интересов горожан, использующих СПМ в организации дорожного движения, является стимулом для развития экономических и экологических преимуществ [2–5].

Задача о выборе маршрута городской поездки горожанином

В рабочую неделю горожане тратят от 7 до 13 часов на дорогу. Ежедневно горожанину приходится решать задачу, какой маршрут выбрать сегодня. Рассмотрим пример. Добираясь из дома на работу, горожанин использует следующую схему (рисунок 1): пешком от дома до остановки (примерно 10 минут), ожидание троллейбуса-автобуса (5 минут), движение на общественном транспорте (около 15 минут), переход и ожидание метро (5 минут), движение на

метро (25 минут), далее пешком до места работы (5 минут). Итого от дома до работы приблизительно 1 час 05 минут.

С использованием СПМ, эта схема станет выглядеть следующим образом: до метро горожанин будет ехать на любом удобном для него СПМ (например, электросамокат) (18 минут), причем не обязательно иметь СПМ в личном пользовании, переход и ожидание метро (5 минут), движение на метро (25 минут), далее снова с использованием СПМ до места работы (2 минуты). Итого – 50 минут.

Сопоставление двух вариантов структуры передвижения представлено на рисунке 1 и в таблице 1 [2–4].

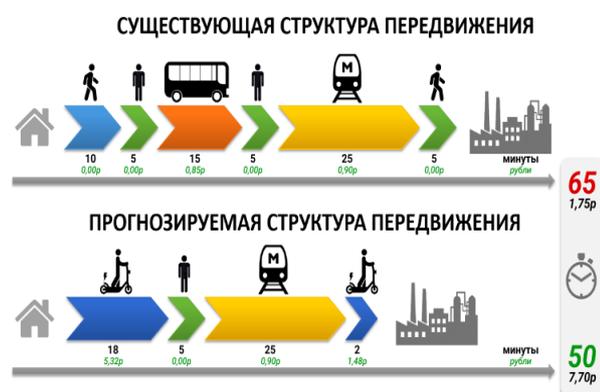


Рисунок 1 – Сопоставление существующей и прогнозируемой структуры передвижения (затраты времени и затраты в денежном выражении) [на основании 6]

В данном случае первый вариант маршрута получился с бóльшими затратами времени (65 минут) и меньшими затратами денежных средств (1,75 руб.). Второй вариант – наоборот, быстрее, но дороже (50 минут и 7,7 руб.).

Какой маршрут передвижения выберет горожанин? При выборе маршрута поездки горожанин оценивает и сопоставляет не только затраты времени и денежные затраты на передвижение. Выбор не ограничивается рамками «быстрее, либо дешевле». Какие факторы будут в наибольшей степени влиять на выбор? Выбор маршрута и использование отдельных видов транспорта и перемещений является очень многопараметрической и актуальной задачей, особенно насущной для снижения нагрузки в центральной и срединной частях городов [7–14].

Каждый вид транспорта имеет свои преимущества и недостатки:

- различная степень комфортности для пассажира;
- необходимость управлять транспортным средством самому или наличие водителя;
- наличие или отсутствие рядом других пассажиров;
- возможность заниматься во время поездки каким-либо делом (чтение, проверка почты, телефонные разговоры, размышление, любование видами города и др.);
- удобство оплаты проезда на данном виде транспорта (наличными, пластиковой картой, через электронный сервис в мобильном приложении и др.).

Таблица 1 – Сопоставление двух вариантов структуры передвижения (пример)

Вид транспорта	Затраты в денежном выражении, руб.	Затраты времени, мин.
Вариант маршрута 1		
Передвижение пешком	0	10
Ожидание прибытия транспорта	0	5
Автобус	0,85	15
Ожидание прибытия транспорта	0	5
Метро	0,9	25
Передвижение пешком	0	5
ИТОГО ПО МАРШРУТУ 1	1,75	65
Вариант маршрута 2		
Электросамокат	5,32	18
Ожидание прибытия транспорта	0	5
Метро	0,9	25
Электросамокат	1,48	2
ИТОГО ПО МАРШРУТУ 2	7,7	50

На выбор может оказывать влияние интенсивность движения в транспортном потоке, которая различается как по времени суток, так и

по зонам города. Например, в часы пик интенсивность движения значительно выше, чем в другое время суток. В центре города движение

транспорта, как правило, более интенсивное, чем на его окраинах.

Выбор вида транспорта может различаться в зависимости от цели поездки, будь то:

- ежедневная поездка на работу или учебу;
- деловая поездка;
- развлекательная поездка;
- и т. д.

Выбор пассажиром варианта маршрута будет зависеть от того, к какой категории относится данный пассажир: мужчина, женщина, студент, рабочий, служащий, бизнесмен, пенсионер и т. д.

Не следует также забывать и о «форс-мажорных» ситуациях, влияющих на выбор:

- серьезные ДТП;
- сильные ливни или снегопад;
- отмена маршрута из-за ремонта уличной дорожной сети;
- и т. п.

Комбинируя виды транспорта во время поездки, пассажир также учитывает, как далеко расположена остановка того или иного вида транспорта, насколько удобна посадка и пересадка с одного вида транспорта на другой, а также график работы транспорта.

Помимо собственного опыта в настоящее время у горожанина имеется множество «помощников» для принятия решения о выборе маршрута: электронные карты (Google, Яндекс), GPS-навигаторы, справочные сайты (kogda.by) и др.

Одним из возможных способов прогнозирования выбора маршрута горожанином может быть сравнение различных вариантов маршрута передвижения между собой на основе интегрального показателя, рассчитываемого для каждого из вариантов маршрута.

Интегральный показатель I для каждого из вариантов маршрута может быть рассчитан по формуле:

$$I = \sum_{i=1}^n (s_i + c_i \cdot t_i \cdot k_i)$$

где n – количество видов транспорта в рассматриваемом варианте маршрута;

s_i – денежные затраты (оплата) на передвижение горожанина в i -м виде транспорта, руб.;

t_i – затраты времени, проведенного горожанином в i -м виде транспорта, мин.;

c_i – субъективная оценка стоимости минуты, проведенной в i -м виде транспорта в определенных условиях поездки, в баллах;

k_i – коэффициент перевода баллов субъективной оценки стоимости минуты в рубли.

Субъективная оценка c_i стоимости одной минуты, проведенной в определенном виде транспорта, характеризует, насколько тяжело дается пассажиру эта минута. Например, минута времени, проведенная за рулем личного автомобиля, и минута, проведенная в троллейбусе, субъективно оцениваются пассажиром по-разному. В центре города при интенсивном движении минута «утяжеляется», а на окраине, где движение менее интенсивное, она кажется «легче». Можно образно сказать «одна минута идет за две».

Субъективная оценка c_i будет зависеть от множества факторов, перечисленных в предыдущем разделе, однако в зависимости от решаемой задачи и требуемой точности можно выделить несколько основных факторов и формализовать оценку.

Решение задачи о выборе маршрута городской поездки горожанином

Для упрощенного решения задачи, сформулированной в предыдущем пункте, будем условно исходить из того, что субъективная оценка c_i в наибольшей степени зависит от вида транспорта. Результаты гипотетической субъективной оценки c_i пассажиром различных видов транспорта представлены в таблице 2.

Выполним расчет потерь горожанина по двум вариантам маршрута (таблица 3).

Таблица 2 – Субъективная оценка c_i стоимости одной минуты, проведенной в различных видах транспорта, а также в режиме ожидания и передвижения пешком, в баллах по десятибалльной шкале (пример)

Вид транспорта	Субъективная оценка c_i в баллах
Ожидание прибытия транспорта	1
Передвижение пешком	1
Электросамокат	3
Автобус	9
Метро	6

Таблица 3 – Расчет потерь горожанина (интегрального показателя I) по двум вариантам маршрута (гипотетический пример)

Вид транспорта	Затраты в денежном выражении s_i , руб.	Затраты времени t_i , мин.	Субъективная оценка стоимости одной минуты c_i , баллов	Субъективная оценка затрат времени $c_i \cdot t_i$, мин.	Денежное выражение затрат времени $c_i \cdot t_i \cdot k_i$, рублей	Интегральный показатель I , руб.
Вариант маршрута 1						
Передвижение пешком	0	10	1	10	3,5	3,5
Ожидание прибытия транспорта	0	5	1	5	1,75	1,75
Автобус	0,85	15	9	135	47,25	48,1
Ожидание прибытия транспорта	0	5	1	5	1,75	1,75
Метро	0,9	25	6	150	52,5	53,4
Передвижение пешком	0	5	1	5	1,75	1,75
Итого по маршруту 1	1,75	65	19	310	108,5	110,25
Вариант маршрута 2						
Электросамокат	5,32	18	3	54	18,9	24,22
Ожидание прибытия транспорта	0	5	1	5	1,75	1,75
Метро	0,9	25	6	150	52,5	53,4
Электросамокат	1,48	2	3	6	2,1	3,58
Итого по маршруту 2	7,7	50	13	215	75,25	82,95

Коэффициент перевода баллов субъективной оценки стоимости минуты в рубли k_i в данном расчете принят равным 0,35 рублей/балл.

Интегральный показатель для первого маршрута составил 110,25 руб. (при сумме оплаты за проезд 1,75 рублей), а для второго маршрута – 82,95 руб. (при сумме оплаты за поездку 7,7 руб.). Таким образом, можно ожидать, что в данном гипотетическом примере горожа-

нин выберет второй вариант маршрута, предусматривающий использование СПМ (электросамоката).

Для проведения более адекватных и точных расчетов с учетом большего количества факторов, влияющих на выбор горожанина, представляется возможным собрать необходимые данные и обобщить их в виде системы таблиц, форма, одной из которых представлена ниже (таблица 4).

Таблица 4 – Субъективная оценка стоимости минуты передвижения. Категория пассажира № 1, вид транспорта № 1

Временной интервал	Зона № 1	Зона № 2	Зона № 3	Зона № 4	Зона № 5	Зона № 6	Зона № 7
8.00							
8.15							
8.30							
...							
21.15							
21.30							

Такие таблицы могут быть разработаны для каждой категории пассажира, а внутри категории пассажира – по видам транспорта. Для каждого вида транспорта в таблице по строкам указаны временные интервалы, а по столбцам – зоны города, различающиеся по интенсивности движения.

Каждая ячейка такой таблицы содержит показатель c_i для конкретной комбинации условий поездки.

Заполнение таблиц коэффициентами c_i может быть произведено путем анкетирования статистически значимого количества экспертов и усреднения полученных ответов. Эксперт

может оценить значение коэффициента c_i по десятибалльной шкале, либо значения c_i могут быть определены на основе метода попарного сравнения (в ряде случаев гораздо легче сделать качественное сравнение двух объектов, опираясь на мнение экспертов, чем установить количественные критерии).

После проведения экспертных оценок и систематизации таблиц, на их основе возможно решение задачи по прогнозированию выбора горожанином варианта маршрута городской поездки с использованием нескольких видов транспорта.

Коэффициент перевода баллов субъективной оценки стоимости минуты в рубли k_i может различаться по категориям пассажиров, а также в зависимости от других факторов.

Заключение

Активное использование СПМ в транспортной системе города способствует экономии времени, затрачиваемого на проезд и на ожидание маршрутного транспорта, сокращаются вредные выбросы и улучшается экология города, разгружается дорожная сеть и соответственно, возрастает скорость движения транспортного потока. Использование СПМ и учет интересов горожан, использующих СПМ, в организации дорожного движения, является стимулом для развития экономических и экологических преимуществ.

При сравнении вариантов перспективного развития городских транспортных систем, включающих СПМ, а также при проектировании новых транспортных систем, возникает необходимость прогнозирования поведения городских жителей при выборе варианта маршрута передвижения.

При выборе маршрута поездки горожанин оценивает и сопоставляет не только затраты времени и денежные затраты на передвижение, но и множество других факторов, в том числе виды транспорта, интенсивность движения, цель поездки, расположение остановочного пункта, удобство пересадки, график работы транспорта, удобство оплаты проезда и т. д. Результаты оценки также будут зависеть от категории самого пассажира и целей его поездки.

Задача о выборе маршрута горожанином может быть решена на основе сравнения значений интегрального показателя, рассчитываемых для каждого из вариантов маршрута. Интегральный показатель учитывает не только денежные затраты и затраты времени на поездку, но и формализует субъективную оценку пассажирами многообразных условий поездки.

Результаты сравнения вариантов маршрута городской поездки с использованием нескольких видов транспорта могут быть использованы для сравнения вариантов перспективного развития городских транспортных систем, включающих СПМ, а также при проектировании новых транспортных систем.

Литература

1. Указ №145 «О совершенствовании организации дорожного движения». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://president.gov.by/ru/events/podpisan-ukaz-o-sovershenst>

vovanii-organizacii-dorozhnogo-dvizheniya. – Дата доступа: 20.09.2022.

2. Капский, Д. В. Эффективность транспортной системы симбиотического города / Д. В. Капский [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XI науч.-практ. конф. (Гомель, 25-26.11.2021 г.): в 2 ч. – М-во трансп. и ком. Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2021. – Ч. 2. – С. 76–77.

3. Капский, Д. В. Исследование мнения жителей городов Полоцка и Новополоцка по вопросам удовлетворенности от реализации транспортных мероприятий по устойчивой мобильности / Д. В. Капский [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 25–26 ноября 2021 г.) : в 2 ч. – М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Ч. 2. – С. 77–80.

4. Основные подходы к стоимостной оценке затрат времени на передвижение населения с использованием городского транспорта / М. Г. Карасёва [и др.] // Информационные технологии в образовании, науке и производстве [Электронный ресурс]: IX Международная научно-техническая интернет-конференция, 20–22 ноября 2021 года / сост. Е. А. Хвилько. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 293–300.

5. Zianchuk, M. Foresighting technological and innovative development of Belarus / M. Zianchuk, I. Saltanova // MEST Journal «Management, Economics, Education, Science & Society Technologies» / Belgrade: MESTE NGO: Faculty of Business and Law of the «Union – Nikola Tesla» University in Belgrade 2020 г. – Vol. 8, No. 2 (2020). – P. 192–199.

6. Капский, Д. В. Проблемы городской логистики симбиотических городов / Д. В. Капский // Автомобильные перевозки и транспортная логистика: теория и практика. Сборник научных трудов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте»: под науч. ред. Е. Е. Витвицкого. – Омск, 2021. – С. 37–43.

7. Капский, Д. В. Методология экономической, социальной и экологической эффективности транспортной системы / Д. В. Капский // Проектирование автомобильных дорог. Сборник докладов 80-й Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. – Москва, 2022. – С. 190–199.

8. Капский, Д. В. Городская логистика стратегический элемент устойчивого развития урбанизированных территорий / Д. В. Капский //

Проблемы международной транспортной политики. Материалы международной конференции. – Москва, 2022. – С. 49–54.

9. Подключенные автомобили в интеллектуальных транспортных системах умных городов // С. А. Ляпин [и др.] // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: сборник статей международной научно-практической конференции. – Липецк, 2022. – С. 7–14.

10. Капский, Д. В. Транспортные передвижения для построения сети городского пассажирского транспорта и транспортной системы / Д. В. Капский // Вестник Белорусско-Российского университета. – № 1 (74). – 2022. – С. 17–30.

11. Капский, Д. В. Пример построения матрицы межрайонных корреспонденций /

Д. В. Капский // Вестник Белорусско-Российского университета. – № 1 (74). – 2022. – С. 5–16.

12. Капский, Д. В. Определение параметров функционирования системы городского маршрутного пассажирского транспорта / Д. В. Капский // Вестник Белорусско-Российского университета. – № 2 (75). – 2022. – С. 4–13.

13. Анализ развития различных видов городского экономического транспорта в Полоцке и Новополоцке / Д. В. Капский // Наука и техника. – 2022. – Т. 21. – № 2. – С. 150–157.

14. Семченков, С. С. Повышение эффективности работы предприятий маршрутного пассажирского транспорта в современных условиях / С. С. Семченков, Д. В. Капский // Новости науки и технологий. – 2022. – № 1 (60). – С. 16–26.

UDC 656.072+629.34-83

KARASEVA Margarita G.,
Senior Lecturer¹
E-mail: mkaraseva@bnyu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 May 2022

FORECASTING OF PASSENGERS' CHOICE OF THE ROUTE OF A CITY TRIP USING MEANS OF PERSONAL MOBILITY ANALY

The article describes a method developed by the author for predicting the choice of a city trip route by passengers using personal mobility aids (PMA). The results of such predicting are necessary for comparing options for the future development of urban transport systems, including PMA, as well as for designing new transport systems.

When choosing a travel route, a citizen evaluates and compares not only the time and money spent on travel, but also many other factors, including types of transport, traffic intensity, purpose of travel, location of the stopping point, convenience of transfer, transport schedule, convenience payment for travel, etc. The results of the evaluation will also depend on the category of the passenger and the purpose of his trip.

The problem of choosing a route by a citizen can be solved on the basis of a comparison of the values of the integral indicator calculated for each of the route options. The integral indicator takes into account not only the monetary costs and time spent on a trip, but also formalizes the subjective assessment by passengers of the diverse conditions of the trip.

Keywords: means of personal mobility, urban passenger transportation, forecasting, transport system, traffic management.

References

1. Decree No. 145 «On improving the organization of traffic». [Electronic resource]. – Access mode: <https://president.gov.by/ru/events/podpisano-ukaz-o-sovershenstvovanii-organizacii-dorozhno-dvizheniya>. – Access date: 20.09.2022.
2. Kapsky, D. V. Efficiency of the transport system of the symbiotic city / D. V. Kapsky [et al.] // Problems of transport safety: materials of the XI scientific and practical conference (Gomel, 25–26.11.2021): at 2 h. – h. 2. – Min. transp. and com. Rep. Belarus, Bel. zh. d., Belarus. gos. un-t transp.; under the general editorship of Yu. I. Kulazhenko. – Gomel: BelGUT, 2021. – P. 76–77.
3. Kapsky, D. V. A study of the opinion of residents of the cities of Polotsk and Novopolotsk on the issues of satisfaction from the implementation of transport measures for sustainable mobility / D. V. Kapsky [et al.] // Problems of transport safety: materials of the XI International Scientific and Practical Conference (Gomel, November 25–26, 2021) : in 2 ch. – Ch. 2. – Min. transp. and Communications Rep. Belarus, Bel. zh. d., Belarus. state University transp. ; under the general editorship of Yu. I. Kulazhenko. – Gomel : BelGUT, 2021. – P. 77–80.
4. Basic approaches to the cost estimation of time spent on the movement of the population using urban transport / M. G. Karaseva [et al.] // Information technologies in education, science and production [Electronic resource]: IX International Scientific and Technical Internet Conference, November 20–22, 2021 / comp. E. A. Khvitko. – Minsk: BNTU, 2022. – P. 293–300.
5. Zianchuk, M. Foresighting technological and innovative development of Belarus / M. Zianchuk, I. Saltanova // MEST Journal «Management, Economics, Education, Science & Society Technologies» / Belgrade: MESTE NGO: Faculty of Business and Law of the «Union – Nikola Tesla» University in Belgrade 2020 – Vol. 8, No. 2 (2020) – P. 192–199.
6. Kapsky, D. V. Problems of urban logistics of symbiotic cities / D. V. Kapsky // Automobile transportation and transport logistics: theory and practice. Collection of scientific papers of the Department «Organization of transportation and transport management»: under the scientific editorship of E. E. Vitvitsky. Omsk, 2021. – P. 37–43.
7. Kapsky, D. V. Methodology of economic, social and environmental efficiency of the transport system / D. V. Kapsky // Designing automobile roads. Collection of reports of the 80-th International Scientific-methodical and research Conference MADL – Moscow, 2022. – P. 190–199.
8. Kapsky, D. V. Urban logistics a strategic element of sustainable development of urbanized territories / D. V. Kapsky // Problems of international transport policy. Materials of the international conference. – Moscow, 2022. – P. 49–54.
9. Connected cars in intelligent transport systems of smart cities// S. A. Lyapin [et al.] // Information communication and intelligent technologies in transport: collection of articles of the international scientific and practical conference. – Lipetsk, 2022. – P. 7–14.
10. Kapsky, D. V. Transport transfers for building a network of urban passenger transport and transport system / D. V. Kapsky // Bulletin of the Belarusian-sko-Russian University. – № 1 (74). – 2022. – P. 17–30.
11. Kapsky, D. V. Example of building a matrix of interdistrict correspondence / D. V. Kapsky // Bulletin of the Belarusian-Russian University. – № 1 (74). – 2022. – P. 5–16.
12. Kapsky, D. V. Definition of parameters of functioning of the urban route passenger transport system / D. V. Kapsky // Bulletin of the Belarusian-Russian University. – № 2 (75). – 2022. – P. 4–13.
13. Analysis of the development of various types of urban economic transport in Polotsk and Novopolotsk / D. V. Kapsky // Science and Technology, 2022. – Vol. 21. – No. 2. – P. 150–157.
14. Semchenkov, S. S. Improving the efficiency of the work of enterprises of route passenger transport in modern conditions / S. S. Semchenkov, D. V. Kapsky // News of science and Technology, 2022. – № 1 (60). – P. 16–26.

ТРЕБОВАНИЯ
к содержанию и оформлению научных
статей, принимаемых к публикации
в сборнике научных статей
«Транспорт и транспортные системы»

К публикации принимаются научные статьи, обзорные статьи на русском и английском языках.

Материалы статей представляются на бумажных (в двух экз.) и на электронных носителях или отправляются по электронной почте transport_systems@bntu.by; POVAREKHO@bntu.by). При отправлении статьи по электронной почте подписи автора(ов) о принятии правил редакционной этики сборника, разработанной с учетом международных норм и правил, направляются отдельным файлом в формате *.pdf; или *.jpeg.

Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.).

Статья должна включать:

– **индекс УДК** (универсальный десятичный код) тематической рубрики (набор текста – шрифт Times New Roman 12 пт, прямой, все прописные);

– **название на русском и английском языках** (должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, набор текста – шрифт Times New Roman 14 пт, полужирный, все прописные);

– **фамилию, имя, отчество автора** (авторов) **на русском и английском языках** в именительном падеже, ученую степень, ученое звание или специальность по диплому (набор текста – шрифт Times New Roman 12 пт, прямой, все строчные). *Аспиранты также должны указывать фамилию, инициалы, ученую степень, звание научного руководителя.*

– **место работы, учебы на русском и английском языках** (набор текста – шрифт Times New Roman 12 пт, прямой, все строчные);

– **почтовый индекс и адрес учреждения, в котором работает автор; адрес эл. почты; телефон** (эти сведения будут указаны в статье – шрифт Times New Roman 12 пт, прямой, все строчные);

– **аннотацию и ключевые слова** (объем 150–200 слов, **на русском и английском языках**) (далее набор текста – шрифт Times New Roman 11 пт, курсив, как в предложении), должна содержать (рекомендованная струк-

тура): цель и задачи работы, методы исследований, результаты, выводы, ключевые слова, взятые не из названия (не более 10 слов). Аннотация должна быть пригодна для опубликования отдельно от статьи. Английский вариант не должен быть механическим переводом русского текста, а обеспечивать понимание сути работы для иностранных читателей;

– **введение** (краткий обзор литературы по проблеме исследования, указаны нерешенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель исследований);

– **основную часть** (возможно деление на подразделы), включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии), однако таблицы и рисунки не должны дублировать друг друга, т. е. не следует перегружать текст статьи иллюстративным материалом;

– **выводы** – в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ;

– **перечень принятых обозначений и сокращений** (при необходимости);

– **список использованных источников**, должен быть составлен в порядке цитирования в тексте, оформляется в соответствии с Инструкцией по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением президиума Государственного высшего аттестационного комитета Республики Беларусь 24.12.1997 № 178 (в редакции постановления ВАК Беларуси от 22.02.2006 № 2) и располагается в конце статьи, ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. В статьях должно быть не менее 10 источников, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования.

При оформлении статей, кроме ГОСТ 7.1–2003, необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

– **иллюстрации** выполняются в форматах .jpeg, .bmp, .tif, .png и располагаются в тексте статьи после первого упоминания о них. *Не допускается выполнение рисунков средствами MS Word.* Ссылки на рисунки в тексте обязательны. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное черно-белое или цветное изображение и, кроме того, представляются в виде отдельных файлов на электронном носителе;

– **таблицы** должны иметь названия и располагаться непосредственно по тексту. Не рекомендуется выполнять горизонтальные таблицы. Количество таблиц – не более трех;

– **формулы** (все символы латинского, греческого алфавитов и иные, используемые в фор-

мулах) *набираются только с помощью редактора формул MathType*. В последнем должен быть установлен следующий размер символов: обычный символ – 11 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 17 пт, мелкий символ – 12 пт. При переносе части формулы на следующую строку в начале этой строки повторяется знак математического действия, которым заканчивалась предыдущая строка. *При этом латинские символы должны быть набраны курсивом как в формулах, так и на рисунках, и в тексте, а русские и греческие – прямо.*

При необходимости делать ссылки на формулы их следует нумеровать арабскими цифрами, помещенными в круглые скобки, в порядке упоминания в тексте. Номера формул выравниваются по правому краю страницы;

– **размерность физических величин и химических показателей**, используемых в тексте, приводится в Международной системе единиц измерения (СИ).

– следует различать дефис «-» и тире «—». От текста тире отделяется единичными пробелами, исключение тире между цифрами и числами (4,0–12,5).

– статья должна быть подписана всеми авторами.

Технические показатели оформления статьи:

– параметры страницы: формат А4; отступ для полей – 20 мм;

– нумерация страниц снизу в колонтитуле, со второй страницы, с выравниванием по правому краю;

– весь текст набирается шрифтом Times New Roman, кегль 11. Межстрочный интервал – одинарный. Абзацный отступ – 5 мм.

– оформление элементов статьи следующее.

– при наборе основного текста не допускается установление:

- а) двух и более символов «пробел» подряд;
- б) абзацных и других отступов с помощью клавиши «Табуляция»;
- в) отступа (пробела) между словом и символами «точка», «запятая», «кавычка», «скобка».

РУКОПИСИ, ОФОРМЛЕННЫЕ БЕЗ УЧЕТА ДАННЫХ ТРЕБОВАНИЙ, К РАССМОТРЕНИЮ НЕ ПРИНИМАЮТСЯ.

Редакция не принимает статьи, опубликованные ранее в других сборниках или научных изданиях. Авторы несут ответственность за то, что материал уже печатался ранее.

Порядок приема статей:

– авторами статей могут являться аспиранты, преподаватели, научные сотрудники, докторанты, соискатели;

– со статьей в редакцию необходимо представить выписку из протокола заседания кафедры и экспертное заключение;

– иностранные граждане должны представлять вместе со статьей сопроводительное письмо на официальном бланке (с реквизитами) от ректора/проректора по науке своего вуза или научно-исследовательского учреждения. В иных случаях решение о приеме статьи принимается редколлегией сборника;

– статьи, поступившие в редакцию сборника, регистрируются в установленном порядке;

– гонорар автору за публикацию статьи не выплачивается;

– материалы, присланные в редакцию, авторам не возвращаются;

– редакция оставляет за собой право вносить изменения в правила оформления статей в связи с требованиями ВАК РФ и решениями редакционного совета сборника.

Научное издание

**ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНЫЕ
СИСТЕМЫ:
конструирование, эксплуатация, технологии**

Сборник научных статей

Основан в 2018 году

Выпуск 4

Подписано в печать 12.12.2022. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 19,53. Уч.-изд. л. 15,01. Тираж 50. Заказ 749.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.