

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 5

**Минск
БНТУ
2023**

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:

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),

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

А. О. Лобашиов (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 путей сообщения имени Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация),

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

И. Н. Пугачев (Дальневосточный государственный университет путей сообщений, 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. Т. Скойбеда, (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь),

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

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>ХОДОСКИН Д. П., ДУБОВИК К. В.</i> Анализ опыта применения программ для моделирования дорожно-транспортных происшествий	5
<i>KNODOSKINA O. A., ZHANG YUIBO.</i> The significance of passenger transport hubs in the transport system: factors of their development.....	16
<i>ФИЛИППОВА Н. А., ЛЕБЕДЕВ М. П., СОСИН М. А., ТРИФОНОВ Н. В.,</i> Современные подходы к организационной структуре в транспортной логистике	22
<i>ФИЛИППОВА Н. А., ЛЕБЕДЕВ М. П., ИОВЛЕВА Е. Л., СОСИН М. А.,</i> Технические инновации для борьбы с алкогольным опьянением на дорогах	30
<i>КАПСКИЙ Д. В., ВОЛЫНЕЦ А. С.</i> Анализ применимости методов прогнозирования и оценки аварийности на конфликтных объектах транспортной сети и перспективы их развития	38
<i>СЕДЮКЕВИЧ В. Н.</i> Обоснование провозной способности на маршруте междугородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении.....	52
<i>МИХАЛЬЧЕНКО А. А., ВУ ХАЙЛОНГ.</i> Исследование эффективности транспортной логистики перевозок грузов	60
<i>САРАЖИНСКИЙ Д. С.</i> Приведение транспортного спроса (на регулируемом пересечении) по вариации	67
<i>ПОВАРЕХО А. С., РАХЛЕЙ А. И.</i> Экспериментальное исследование пневмоаппаратов, обеспечивающих снижение усилия на органах управления.....	75
<i>ЕРМИЛОВ С. В., ЖИЛЕВИЧ М. И.</i> Математическая модель модулятора тормозного привода карьерного самосвала с гидравлической антиблокировочной системой	84
<i>НИКИШЕВ А. А., ПЕТРУЧЕНКО А. Н., ПРЕДКО А. В.</i> Специальные устройства снижения амплитуды крутильных колебаний коленчатых валов	93
<i>КАПСКИЙ Д. В., БОГДАНОВИЧ С. В., ЗАЙЦЕВА И. С.</i> К вопросу оценки безопасности приемыкания на автомобильных дорогах.....	106
<i>ГУРСКИЙ А. С.</i> Система удаленного мониторинга и дистанционной диагностики высоковольтных накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств	115
<i>БОЙКОВ В. П., АБДУРАЗЗОКОВ У. А., АНВАРЖОНОВ А. А. УГЛИ.</i> Анализ дорожных условий эксплуатации карьерных самосвалов в республике Узбекистан	124
<i>ЖДАНОВИЧ Ч. И.</i> Закономерности распределения давления под гусеничным движителем с упругими траками.....	134

УДК 656.08

ХОДОСКИН Д. П., канд. техн. наук,
ст. преподаватель кафедры «Управление автомобильными перевозками и дорожным движением»
E-mail: dlya_moih_studentov@mail.ru

ДУБОВИК К. В., магистрант
кафедры «Управление автомобильными перевозками и дорожным движением»
E-mail: a779865@gmail.com

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 19.07.2023

АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

Растущая моторизация общества является необходимым условием для экономического роста, инновационного развития и сплоченности страны. К сожалению, этот процесс имеет и негативные побочные эффекты, к примеру, дорожно-транспортные происшествия (ДТП) из-за имеющихся недостатков в организации дорожного движения, ошибок водителей, поломки транспорта или проблемы в дорожной инфраструктуре, которые ведут к финансовым издержкам – различного вида потерям и, в худшем случае, – человеческим жертвам. Поэтому необходима надежная, базирующаяся на научных выводах, реконструкция ДТП. Специально разработанное компьютерное программное обеспечение – это новейшая технология, позволяющая объективно произвести подобную реконструкцию. Предлагается рассмотреть опыт различных стран, который в первую очередь направлен на повышение безопасности движения всех участников дорожного движения с помощью разбора и моделирования ДТП с использованием программных продуктов, а затем сравнить их между собой на основе анализа достоинств и недостатков. Однако получить надежные и достоверные результаты расчетов возможно лишь при условии подстановки в формулы фактических числовых значений соответствующих исходных расчетных данных (результатов измерений, параметров и коэффициентов). Это обстоятельство связано с обоснованностью, объективностью и достоверностью выводов эксперта. Поэтому актуальной задачей является повышения достоверности экспертных исследований и сокращения сроков их производства. Применение специального программного обеспечения позволяет значительно повысить эффективность выполняемых работ по решению поставленных задач по трем аспектам: 1) ускоряется процесс расчетов; 2) в качественном плане применение компьютерных программ уменьшает вероятность ошибок арифметического характера; 3) имеется возможность визуализации результатов произведенного исследования.

Ключевые слова: программное обеспечение, моделирование механизма ДТП, экспертиза ДТП, столкновение транспортных средств, моделирование движения автомобиля.

Введение

Общим при проведении многих видов судебных экспертиз является выполнение расчетов по тем или иным формулам, в которые входят значения соответствующих табличных справочных данных, параметров и коэффициентов. Так, например, формулы, описывающие механическое движение, позволяют эксперту рассчитать параметры, связанные с эффектив-

ностью торможения автомобиля. При этом информацию о числовых значениях величин (времени реакции водителя, коэффициенте сцепления, временных параметрах тормозной системы и др.), входящих в формулы, эксперт выбирает самостоятельно из научно-технической и справочной литературы, исходя из собственного опыта и существующих рекомендаций [1–4].

Однако всегда ли выбор эксперта точен? Методики, применяемые в практике автотехнической экспертизы, основаны на законах физики, теоретической механики, теории и конструкции автомобилей, теории соударения и т. д. При этом, как правило, происходит упрощение применяемых математических зависимостей. Это связано с тем, что при производстве экспертизы может быть ограничено число задаваемых исходных параметров для упрощения процесса вычисления, что приводит к снижению достоверности результата.

На данный момент можно выделить три компании, поставляющие подобное программное обеспечение:

– IbV Informatik GmbH, производящая компьютерные модули CARAT (Computer Assisted Reconstruction of Accidents in Traffic);

– Dr. Steffan Datentechnik, поставляющая на рынок программу PC-Crash и ей сопутствующие модули (PCRect);

– Dr. Werner Gratzner – ANALYSER PRO.

Основная цель

Общая задача моделирования – изменяя значения задаваемых параметров и характеристик, возможно точно воспроизвести процесс ДТП. Решающим признаком правильно произведенного моделирования является соответствие моделируемого движения ТС объективным данным (расположению и характеру зафиксированных следов, мест столкновений, конечных положений ТС) при заданных исходных данных и допустимых значениях выбираемых параметров. Добиться этого достаточно трудно. Имитационная модель не способна формировать свое собственное решение в том виде как это имеет место в аналитических моделях.

Основная часть

Исследование на имитационной модели состоит из серии прогонов (опытов). В ходе каждого прогона задается комплекс исходных данных и запускается процесс моделирования. С помощью анимации, визуализирующей те-

чение процесса и полученных результатов расчета, дается оценка соответствия моделируемого движения ТС объективным данным. Как правило, результаты первых прогонов далеки от желаемых. После анализа результатов выполняется целенаправленное изменение варьируемых параметров и производится следующий прогон. Далее цикл повторяется. Желаемый результат достигается итерационными методами, основанными на многократных поисковых шагах в пространстве управляемых параметров. Имитационное моделирование в большей степени искусство, нежели наука. Искусством моделирования могут овладеть те, кто наряду с глубокими знаниями динамики автомобиля, теории удара, опытом проведения экспериментальных исследований, обладает интуицией, позволяющей на основе анализа полученных результатов выбрать правильное направление дальнейших шагов. Имитационное моделирование представляет собой весьма трудоемкое средство, требующее большого объема и высокого качества исходных данных, обширной и пополняемой базой параметров автомобилей, высокой квалификации эксперта, больших затрат времени.

Поэтому, прежде чем приступать к моделированию с использованием программы, следует убедиться, что задача не решается с использованием традиционных экспертных методик. В том случае, когда задача может быть сведена к простой модели и решена аналитически, не стоит прибегать к имитации. Имитационное моделирование с использованием компьютерных программ – сложный и дорогостоящий инструмент незаменимый при решении определенного класса задач, не заменяющий, а дополняющий традиционные методы автотехнических исследований [5].

Далее кратко рассмотрим возможности имеющихся программных продуктов. Для каждого из них на первом этапе необходимо обеспечить правильный процесс собирания всех имеющихся следов и их задокументировать (рисунок 1).



Рисунок 1 – Сохранение и документация следов на месте ДТП

1. *AnalyzerPro* – программное обеспечение для реконструкции и просчета ДТП. Оно включает в себя мощный чертежный инструментарий для подготовки схемы ДТП в двухмерном и трехмерном виде. *AnalyzerPro* – проверенная программа, выдающая надежные расчеты. В ней содержится база данных автомобильных шин.

Эта информация позволяет произвести симуляцию движения заданного транспортного средства максимально приближенно к реальности, принимая во внимание реакционные силы в его колесах. Таким образом, в программе *AnalyzerPro* возможен анализ в трехмерном разрешении и с учетом всех возможных физических

параметров. Данное программное обеспечение доступно на нескольких языках: немецком, английском, итальянском, испанском, хорватском, словенском, чешском и с 2018 года – на французском и русском. Программа ежегодно обновляется и совершенствуется дополнительными функциями. Для подробного моделирования происшествия необходимо задать соответствующие данные транспортного средства (рисунок 2). Это можно сделать вручную либо с помощью базы данных, интегрированной в программу, содержащей около 6000 автомобилей и постоянно пополняющейся.

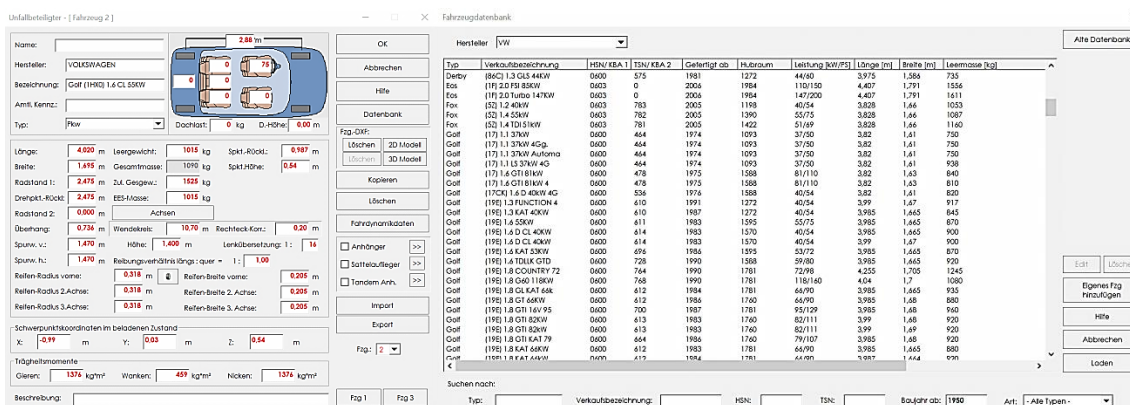


Рисунок 2 – Ввод данных

Программа *AnalyzerPro* проверяет в ходе моделирования физическую достоверность расчетов и предупреждает пользователя об

ошибке в случае, если результаты противоречат законам механики (рисунок 3).

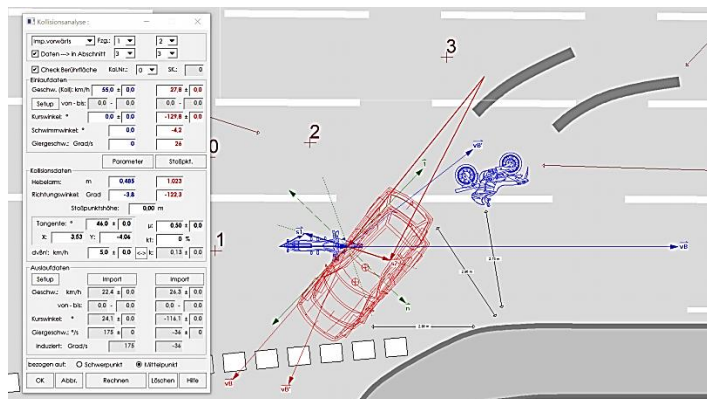


Рисунок 3 – Кинематический анализ движения транспортного средства

2. Ввиду постоянно возрастающих объемов работ по автотехническим экспертизам, необходимостью увеличения производительности труда экспертов-автотехников, повышения достоверности экспертных исследований и сокращения сроков их производства, в ГУ СЗРЦСЭ было признано целесообразным организовать производство автотехнических экспертиз с использованием современного программного обеспечения. С этой целью ГУ СЗРЦСЭ в 1999 году завершил разработку про-

граммы «*AUTO-GRAF 1.1*». Программа представляет собой графический редактор, позволяющий строить масштабные схемы ДТП и тем самым – моделировать обстановку места происшествия. При создании графического редактора «*AUTO-GRAF 1.1*» было обеспечено его соответствие не только общепринятым стандартам на предназначенные для работы с графическими объектами программные продукты, но и требованиям, вытекающим из экспертной практики. Такой подход позволил снизить тру-

доемкость построения схем и повысить их точность. Программа располагает базой в 170 автомобилей (практически все автомобили отечественного производства). При отсутствии в базе автомобиля какой-либо модели она может быть введена в базу экспертом самостоятельно при помощи имеющегося в программе шаблона автомобиля.

Программа содержит полную базу дорожных знаков и разметки, а также элементов вещественной обстановки на месте ДТП (дома, светофоры, деревья, пешеходы и т. д.). Кроме этого, в программу введен такой удобный инструмент, как шаблоны перекрестков. С их помощью эксперт в кратчайшие сроки может создать перекресток необходимой конфигурации с требуемой шириной проезжих частей. Программа проста в использовании и легка в освоении, тем не менее в большой степени повышает наглядность и достоверность экспертных исследований.

3. Движение автомобиля является сложным процессом, который зависит от особенностей его конструкции (параметров двигателя, трансмиссии, подвески, колес, геометрии кузова, распределения нагрузки относительно опорных точек), от характера взаимодействия с дорожным покрытием, от особенностей дорожной поверхности, от особенностей окружающей среды и т. д. Учесть при определении параметров движения автомобиля по возможности большее число влияющих на него параметров позволяют компьютерные программы динамического моделирования их движения и их столкновений. Летом 1999 года ГУ СЗРЦСЭ были приобретены два программных продукта австрийского разработчика Dr. Steffan Datentechnik Ges.m.b.H: программа динамического моделирования механизма движения автомобилей и их столкновений «PC Crash» (версия 5.1) и программа преобразования двухмерных изображений (фотографий) «PC-RECT» (версия 2.4) [6].

«PC Crash» – одна из самых распространенных и функциональных на сегодняшний день компьютерных программ для анализа и моделирования механизма ДТП, создатель которой –

австрийская фирма Dr. Steffan Datentechnik Ges.m.b.H (DSD). В программе «PC Crash» нашли применение несколько моделей расчета столкновений: классическая модель удара (рисунок 4), а также более совершенные – силовая (рисунок 5) и сетчатая (рисунок 6) модели. Важным преимуществом программы является возможность вести расчет параметров движения транспортных средств и других объектов в динамике – с учетом действительных их параметров, а также окружающей среды и управляющих воздействий. Кроме того, в программе нашли применение и кинематические модули расчета. Результаты моделирования, полученные при работе с программой «PC Crash», могут быть представлены как текстовые файлы, содержащие исходные и расчетные данные, а также могут быть выведены в виде диаграмм и таблиц. Для визуализации выполненного моделирования служат – 2D (вид сверху на рабочий стол) и 3D анимации (пространственный вид). Кроме того, выполненное моделирование можно приложить к экспертному заключению в виде проектного файла.

Вопросы реконструкции ДТП, решаемые при помощи программного продукта «PC Crash»: 1) место столкновения и положения транспортных средств и других объектов; 2) режимы движения; 3) реконструкция действий водителя (место реагирования); 4) параметры тяжести ДТП; 5) возможный ущерб; 6) правдоподобность столкновения (сочетаемость повреждений, последовательность событий).

Основные функции программного продукта «PC Crash» [10]: 1) моделирование среды движения в 3D, с учетом локальных поверхностей, бокового ветра; 2) моделирование динамики транспортных средств (в том числе – автопоездов) в 3D; 3) моделирование столкновений в 3D; 4) моделирование многосоставных моделей; 5) моделирование движения пассажиров; 6) моделирование движения транспортных средств и других объектов в кинематике; 7) модули для прикладных расчетов.

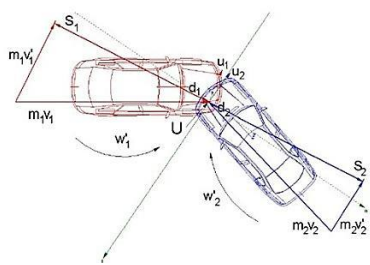


Рисунок 4 – Классическая модель столкновения

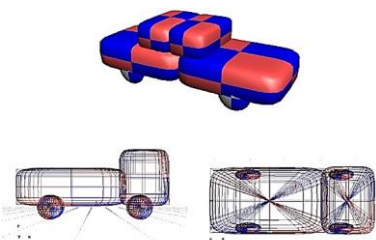


Рисунок 5 – Силовая модель анализа столкновения

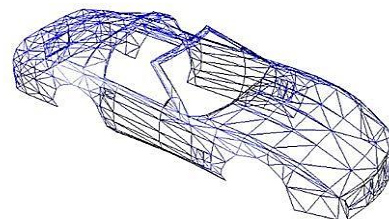


Рисунок 6 – Сетчатая модель анализа столкновения

Программный продукт «PC Crash» предназначен для моделирования дорожных происшествий, и имеет широкий спектр возможностей в этой области. Вот некоторые из основных возможностей программы:

1. Моделирование столкновений: PC-Crash позволяет создавать и моделировать различные типы столкновений, включая фронтальные, задние, боковые, перекрестные и другие.

2. Импорт и создание 3D-моделей: программа позволяет импортировать 3D-модели автомобилей и дорожных объектов из различных форматов, включая файлы CAD. Также можно создавать 3D-модели автомобилей и дорожных объектов непосредственно в программе.

3. Расчет физических параметров: PC-Crash позволяет рассчитывать физические параметры столкновений, такие как скорость, ускорение, силы и т. д.

4. Создание анимации: программа позволяет создавать анимацию столкновений, что может помочь визуализировать события и лучше понять, что произошло во время ДТП.

5. Создание отчетов: PC Crash имеет возможность создавать отчеты о моделировании, которые могут использоваться в судебных процессах и для страховых претензий.

6. Моделирование условий: программа позволяет моделировать различные условия, такие как погодные, состояние дороги, транспортное средство, и т. д.

7. Учет физических свойств материалов: PC Crash учитывает физические свойства материалов, из которых сделаны автомобили и дорожные объекты, что позволяет создавать более точные модели столкновений.

8. Моделирование поведения пассажиров: программа позволяет моделировать поведение пассажиров в автомобиле во время столкновения, что может помочь оценить возможные травмы и др.

Это лишь некоторые возможности програм-

мы «PC Crash», и она имеет множество других функций, которые могут быть полезны в моделировании дорожных происшествий [7; 8].

4. Программные инструменты CarSim, BikeSim и TruckSim моделируют и анимируют динамические испытания автомобилей (рисунок 7), мотоциклов (рисунок 8), скутеров, гоночных автомобилей и грузовиков с использованием стандартных ПК с ОС Windows. Математические модели, основанные на многолетних исследованиях в области динамики автомобилей, с высокой точностью имитируют торможение, управляемость, плавность хода, устойчивость и ускорение. Основные модели могут быть расширены с помощью другого программного обеспечения, такого как Simulink. Внутренний набор инструментов языка VS Command добавляет мощную возможность программирования во время выполнения, которая позволяет пользователям писать свой собственный код в решатель, с помощью которого можно определять новые переменные, импортировать и экспортировать переменные, выполнять основные математические функции (включая ветвление) или даже добавлять новые дифференциальные уравнения.

Программа подходит для использования с Computer Vision Toolbox и Image Processing Toolbox для передовых систем помощи водителю (ADAS), а также для разработки и тестирования автономных транспортных средств.

CarSim, TruckSim и BikeSim используются по всему миру более чем 200 университетами и государственными исследовательскими лабораториями. Вот несколько преимуществ: 1) CarSim, TruckSim и BikeSim – это отдельное приложение. Для моделирования не требуется никакого другого программного обеспечения; 2) имеет стандартный интерфейс для MATLAB/Simulink; 3) используется крупнейшими производителями транспортных средств (мотоциклов);

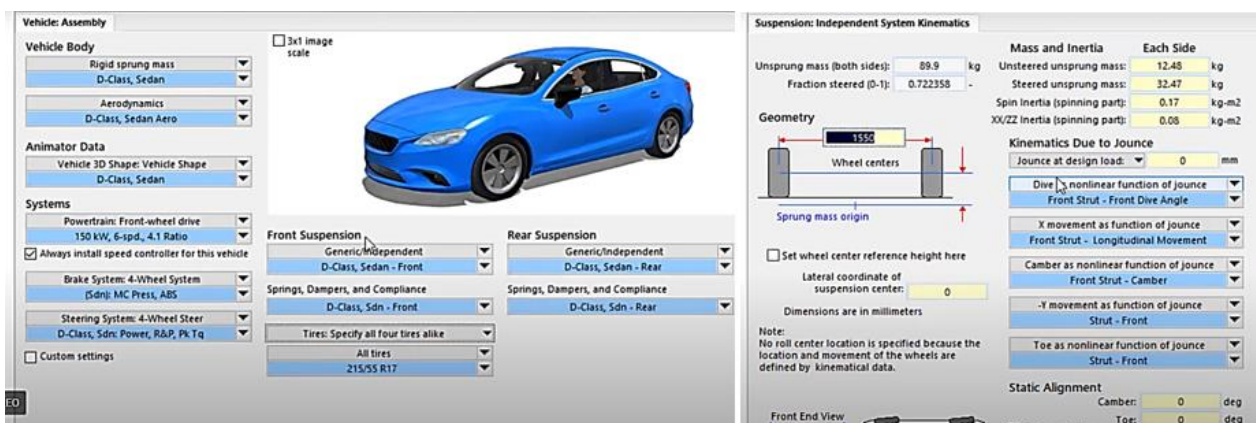


Рисунок 7 – Параметры транспортного средства

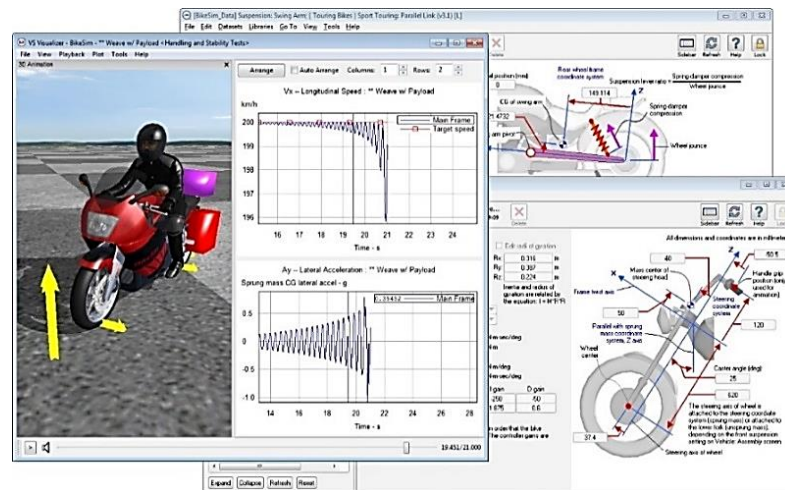


Рисунок 8 – Параметры мотоцикла

4) CarSim, TruckSim и BikeSim позволяет пользователям создавать сложные сценарии и тестировать последовательности событий (рисунки 9–12); 5) имеет интуитивно понятный пользовательский интерфейс и мощные инструменты анализа; 6) поддерживает датчики автомобиля и интерактивный трафик для разработки V2V и ADAS; 7) включает в себя множество примеров автомобилей, дорог и процедур для помощи начинающим пользователям и др.

CarSim, BikeSim и TruckSim используют технологии, впервые представленные в 1990 году и с тех пор постоянно развивающиеся. Эффективные параметрические математические модели воспроизводят динамическое поведение автомобилей на системном уровне под управлением графического пользовательского интерфейса, предназначенного для инженеров, которым необходимо оценить поведение транспортного средства, не тратя недели на обучение. Продукты VehicleSim также включают инструмент VS Visualizer для просмотра симуляций с графиками и фотореалистичной анимацией.

В дополнение к встроенным возможностям моделей BikeSim программные инструменты VehicleSim включают в себя методы расширения возможностей с помощью пользовательских программ и/или подключений к стороннему программному обеспечению: 1) коммерческие среды моделирования Simulink среды моделирования Simulink (MathWorks), LabVIEW (National Instruments) и ASCET (ETAS); 2) среды моделирования, поддерживающие интерфейс функционального макета (FMI); BikeSim может автоматически создавать функциональные макеты (FMU), которые работают во многих внешних программных средах; 3) команды VS (встроенный язык сценариев); 4) работайте с пользовательскими программами (MATLAB, Visual Basic, C/C++) с помощью VS SDK (комплекта для разработки программного обеспечения); 5) запуск с удаленным управлением через Windows COM и другими способами; 6) поддержка тестирования HIL (аппаратное обеспечение в цикле) на основных платформах RT (в реальном времени).



Рисунок 9 – Моделирование движения транспорта

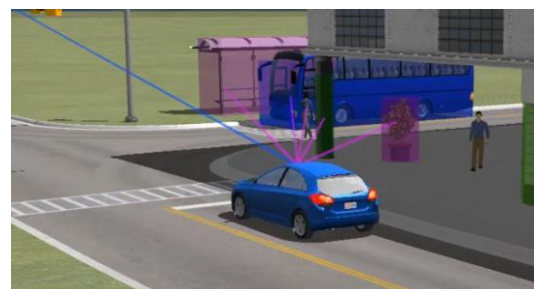


Рисунок 10 – Анимация видимости объектов



Рисунок 11 – Моделирование участков дорог

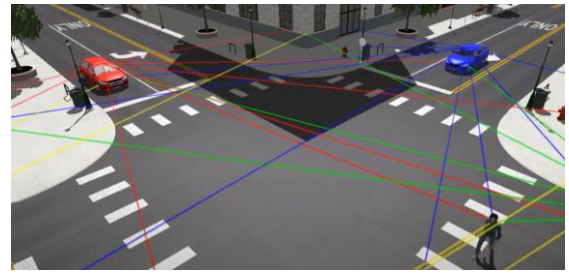


Рисунок 12 – Моделирование проезда перекрестков

SuspensionSim может генерировать пользовательские выходные данные на основе пользовательских спецификаций. Создавайте кинематику подвески и свойства соответствия в Parsfiles для непосредственного использования в CarSim, TruckSim и BikeSim (рисунки 13, 14).

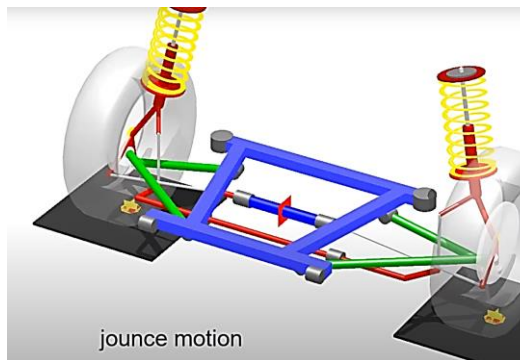


Рисунок 13 – Моделирование отдельных узлов автомобиля

Например, с набором смоделированных тестовых процедур К&С достаточно одного нажатия кнопки, чтобы сгенерировать Parsfile для информации о подвеске/рулевом управлении, которую можно использовать в модели автомобиля VehicleSim [9; 10].

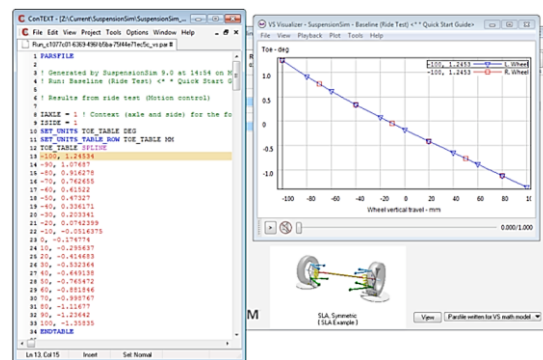


Рисунок 14 – Информация о подвеске/рулевом управлении

5. Компьютерная программа *Cybid V-SIM* дает возможность моделировать движение автомобилей, прицепов и полуприцепов в различной транспортной среде (рисунок 15). Программа обладает графическим редактором, позволяющим пользователю создать транспортную среду, соответствующую месту и времени ДТП. Произведенный анализ, реконструкцию и моделирование возможно представить, как 2D или 3D визуализацию (анимацию). Программа позволяет также моделировать в кинематике (анимация) движение других объектов, например, пешеходов, велосипедистов, мотоциклистов и т. п.

Программа V-SIM имеет графический редактор, который дает возможность построения фрагментов дороги и перекрестков с различными коэффициентами сцепления, уклоном или действием бокового ветра. Имеется обширная база макетов дорожной разметки и дорожных знаков в соответствии со стандартами Российской Федерации, неподвижных моделей автомобилей и других

участников движения, силуэтов человеческого тела, измерительных линий и выносок. В программе Cybid PLAN можно создать практически готовые транспортные среды для программы V-SIM.

Анализ процесса и последствий ДТП может включать в себя: 1) столкновение автомобилей друг с другом; 2) столкновение автомобилей с другими участниками дорожного движения (кинематические объекты); 3) столкновение автомобилей с препятствиями местности.

В зависимости от поставленных целей, программа может применяться в следующих областях: 1) анализ, моделирование и реконструкция ДТП при проведении автотехнической экспертизы; 2) проектирование автомобилей и их компонентов; 3) дорожная инженерия – проектирование автомобильных дорог и их среды. Программа V-SIM имеет встроенную базу данных более чем 12000 автомобилей, которые можно использовать в моделировании. Это автомобили практически всех категорий, имеющие от 1 до 3 осей вме-

сте с полуприцепами и прицепами с центральной осью. Пользователь имеет возможность изменения технических параметров

введенных автомобилей, а также возможность создавать свои собственные.

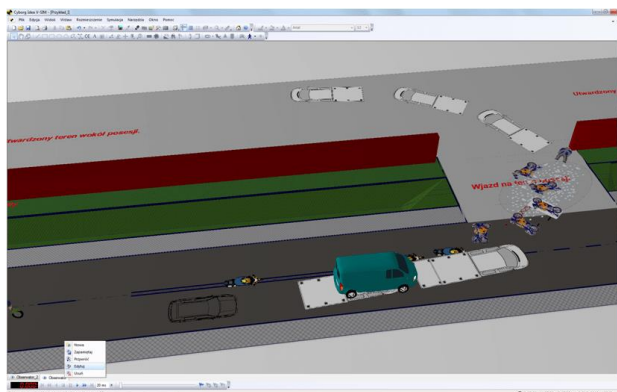


Рисунок 15 – Моделирование столкновения в программе «Cybid V-SIM»



Рисунок 16 – Общий вид схемы моделирования ДТП в программе «Cybid V-SIM»

Программа имеет обширную базу данных кинематических объектов (пешеходы, мотоциклисты, велосипедисты, животные и некоторые железнодорожные объекты (например, трамвай) или специальные (например, комбайн). Для каждого из них можно индивидуально задать траекторию движения, изменение скорости, ускорение/задержку, изменение направления движения и вращения.

Механизм столкновения, а также его последствия, анализируются в трехмерном пространстве (3D) (рисунок 16). Моделировать можно столкновения со скольжением или без него. При анализе столкновения программа может использовать две модели столкновения: 1) силовая модель, в которой силы, действующие между участниками столкновения, изменяются постоянно с момента первичного контакта кузовов до окончательного их разъединения. Эта модель была специально разработана для целей компьютерного моделирования движения ТС и является наиболее приближенной к реальному ходу столкновений ТС; 2) классическая (импульсная) модель, основанная на коэффициенте восстановления всего кузова, вместо показателей жесткости отдельных элементов кузова. Она дает возможность пользо-

вателю изменять автоматически принятые программой параметры.

Моделирование состоит в том, чтобы рассчитать программой последующие этапы движения моделируемых объектов на основе текущего состояния и предполагаемых задач, которые должны быть выполнены во время движения. Программа одновременно рассчитывает последующие состояния трафика и показывает последующие состояния объектов. Моделирование может быть непрерывным, плавным или пошаговым, что позволяет пользователю точно наблюдать объекты на последующих этапах движения. После расчета последовательность моделирования можно затем воспроизвести или перемотать плавно или пошагово.

Выводы

В таблице 1 представлены результаты сравнительной характеристики рассмотренных программ моделирования.

В отличие от других программ моделирования (как показано в таблице), некоторые из них не предназначены для конкретного моделирования ДТП, PC Crash имеет специализированные инструменты и функции, которые позволяют проводить более точные и реалистичные моделирования ДТП.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика программ моделирования ДТП

Наименование показателя	Название программного продукта				
	AnalyzerPro (Германия)	Auto-graf 1.1 (Германия)	PC Crash (Австрия)	CarSim (США)	Cybid V-SIM (Польша)
Доступность	Программа доступна в демоверсии	Программу сложно найти в свободном доступе, даже демоверсию	Программу возможно скачать во взломанном режиме	Программа доступна в демоверсии	Программа доступна в демоверсии
Анализ данных	–	+	+	+	+
Визуализация данных	–	–	+	+	+
Предварительное обучение	+	–	+	–	–
Специализирована на моделирование ДТП	+	–	+	–	–
Сравнение с реальными данными ДТП	+	–	+	–	–

PC Crash позволяет создавать трехмерные модели движения автомобилей, анализировать данные столкновений, визуализировать результаты и сравнивать их с реальными данными. Это позволяет специалистам в области безопасности дорожного движения более углубленно подходить к выявлению причин ДТП и выработать на их основе мероприятия, обеспечивающие более безопасные дорожные условия, предупреждающие ДТП в будущем.

Таким образом, основными отличительными возможностями PC Crash являются: 1) моделирование движения автомобилей: PC Crash позволяет создавать модели движения автомобилей на дороге. Это позволяет анализировать различные сценарии ДТП и предсказывать их последствия; 2) моделирование столкновений: PC Crash позволяет создавать модели столкновений между автомобилями и другими объектами на дороге. Это позволяет анализировать последствия различных видов столкновений и определять причины ДТП; 3) анализ данных: PC Crash позволяет анализировать данные, полученные в результате ДТП, и определять их причины и последствия. Это позволяет улучшать безопасность на дорогах и предотвращать ДТП в будущем; 4) визуализация данных: PC Crash позволяет визуализировать данные, полученные в результате моделирования ДТП. Это позволяет более наглядно представить последствия ДТП и определить наиболее опасные ситуации на дорогах; 5) сравнение с реальными данными: PC Crash позволяет сравнивать результаты моделирования с реальными данными, полученными в результате ДТП. Это позволяет улучшать точность моделирования и повышать эффективность программы.

Литература

1. Изосимов, С. В. Актуальные проблемы обеспечения безопасности дорожного движения

на современном этапе / С. В. Изосимов, А. П. Кузнецов, Н. Н. Маршакова // Транспортное право. – 2006. – № 1. – С. 20–29.

2. Иларионов, В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий : учеб. для вузов / В. А. Иларионов. – М. : Транспорт, 1989. – 255 с.

3. Применение дифференцированных значений времени реакции водителя в экспертной практике : метод. рекомендации. – Мн. : М-во юстиции, НИИ проблем криминологии, криминалистики и судебных экспертиз», М-во внутренних дел, Гос. экспертно-криминалистический центр, 1997. – 15 с.

4. Применение в экспертной практике экспериментально-расчетных значений параметров торможения автотранспортных средств в разных массовых состояниях на дорогах с различными сцепными качествами : метод. рекомендации. – Мн.: М-во юстиции, НИИ проблем криминологии, криминалистики и судебных экспертиз, М-во внутренних дел, Гос. экспертно-криминалистический центр, 1995. – 12 с.

5. Бекмагамбетов, М. М. Анализ современных программных средств транспортного моделирования / М. М. Бекмагамбетов, А. В. Кочетков // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – № 6 (77). – С. 25–34.

6. Auto-graf 1.1 – Графический редактор для моделирования ДТП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net/2259756/informatika/auto_graf – Дата доступа: 18.03.2023.

7. PC CRASH – Компьютерная программа для анализа и моделирования дорожно-транспортных происшествий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.expertiza-center.ru/node/61> – Дата доступа: 18.03.2023.

8. Richard P. The Traffic Accident Manual – The Only Step-by-Step, How-To Book That You

Absolutely Need But Hopefully Will Not Use. – USA: CRS Press, 1998. – 191 p.

9. CarSim – Mechanical Simulator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.carsim.com/> – Дата доступа: 18.03.2023.

10. Dean Karnopp. Vehicle Dynamics, Stability, and Control. – Prime Deals, USA, 2013. – 326 p.

11. Cybid V-SIM – компьютерная программа для моделирования и реконструкции ДТП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://soft.ekc-vector.ru> – Дата доступа: 18.03.2023.

UDK 656.08

KHODOSKIN D. P., Senior lecturer,
Department «Management of road transport and traffic»¹
E-mail: dlya_moih_studentov@mail.ru

DUBOVIK K. V., Undergraduate,
Department «Management of road transport and traffic»²
E-mail: a779865@gmail.com

Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

Received 19 July 2023

ANALYSIS OF EXPERIENCE IN APPLICATION OF PROGRAMS FOR SIMULATION OF ROAD ACCIDENTS

The growing motorization of society is a necessary condition for economic growth, innovative development and cohesion of the country. Unfortunately, this process also has negative side effects, for example, road traffic accidents due to existing deficiencies in the organization of traffic, driver errors, vehicle breakdowns or problems in road infrastructure that lead to financial costs – of various types. losses and, in the worst case, human casualties. Therefore, reliable, based on scientific conclusions, reconstruction of accidents is needed. Specially developed computer software is the latest technology that allows such a reconstruction to be carried out objectively. It is proposed to consider the experience of various countries, which is primarily aimed at improving the safety of all road users by analyzing and modeling accidents using software products, and then comparing them with each other based on an analysis of advantages and disadvantages. However, it is possible to obtain reliable and reliable calculation results only if the actual numerical values of the corresponding initial calculated data (measurement results, parameters and coefficients) are substituted into the formulas. This circumstance is connected with the validity, objectivity and reliability of the expert's conclusions. Therefore, an urgent task is to increase the reliability of expert studies and reduce the time for their production. The use of special software can significantly increase the efficiency of the work performed to solve the tasks in three aspects: 1) the calculation process is accelerated; 2) in qualitative terms, the use of computer programs reduces the likelihood of arithmetic errors; 3) it is possible to visualize the results of the study.

Keywords: *software, modeling of the mechanism of an accident, examination of an accident, collision of vehicles, modeling of the movement of a car.*

References

1. Izosimov, S. V. Actual problems of road traffic safety at the present stage / S. V. Izosimov, A. P. Kuznetsov, N. N. Marshakova // Transport law. – 2006. – No. 1. – P. 20–29.

2. Ilarionov, V. A. Examination of road accidents: textbook. for universities / V. A. Ilarionov. – M. : Transport, 1989. – 255 p.

3. Application of differentiated values of the driver's reaction time in expert practice: method.

recommendations. – Minsk : Ministry of Justice, Research Institute of Problems of Criminology, Forensic Science and Forensic Examinations, Ministry of Internal Affairs, State. forensic center, 1997. – 15 p.

4. Application in expert practice of experimental and calculated values of the braking parameters of vehicles in different mass states on roads with different grip qualities: method. recommendations. – Minsk : Ministry of Justice, Research Institute of Problems of Criminology, Forensic Science and Forensic Expertise, Ministry of Internal Affairs, State. forensic center, 1995. – 12 p.

5. Bekmagambetov, M. M. Analysis of modern software for transport modeling / M. M. Bekmagambetov, A. V. Kochetkov // Journal of Automotive Engineers. – 2012. – No. 6 (77). – P. 25–34.

6. Auto-graf 1.1 – Graphical editor for accident simulation [Electronic resource]. – Access mode: https://studbooks.net/2259756/informatika/auto_graf – Access date: 03/18/2023.

7. PC CRASH – Computer program for the analysis and modeling of traffic accidents [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.expertiza-center.ru/node/61> – Access date: 03/18/2023.

8. Richard P. The Traffic Accident Manual – The Only Step-by-Step, How-To Book That You Absolutely Need But Hopefully Will Not Use. – USA: CRS Press, 1998. – 191 p.

9. CarSim – Mechanical Simulator [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.carsim.com/> – Access date: 03/18/2023.

10. Dean Karnopp. Vehicle Dynamics, Stability, and Control. – Prime Deals, USA, 2013. – 326 p.

11. Cybid V-SIM – a computer program for modeling and reconstruction of road accidents [Electronic resource]. – Access mode: <http://soft.ekc-vector.ru> – Access date: 03/18/2023.

KHODOSKINA O. A., Ph. D., Associate Professor
of the Department «Transport Economics»
E-mail: for_diplomnic@mail.ru

ZHANG YUIBO, Master of Economic Sciences
E-mail: 994793124@qq.com

Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

Received 21 July 2023

THE SIGNIFICANCE OF PASSENGER TRANSPORT HUBS IN THE TRANSPORT SYSTEM: FACTORS OF THEIR DEVELOPMENT

The modern transport system includes not only the effective functioning of all modes of transport included in it, and the corresponding infrastructure, but also their interaction and complementarity, the purpose of which is to fully satisfy the needs of the client – the cargo owner or passenger. In this regard, today the issue of designing and developing passenger transport hubs – hubs, characterized by all the necessary complex of transport and related services provided to the passenger, is relevant. Therefore, the choice and development of hubs for passenger transportation is an important component of the country's transport and logistics system, which requires special attention, since the subsequent choice for the use of a hub by passengers is based not only on the possibility of obtaining the main transport service, but also on a set of accompanying significant for the passenger services. This determines the set of influencing factors taken into account when designing passenger transport hubs, as well as included in the economic-mathematical model, which makes it possible to evaluate not only the efficiency of the functioning of existing passenger transport hubs and the direction of their development, but also to assess the potential efficiency in the design of passenger hubs.

The significance of the development of passenger transport hubs is determined by the need to improve the quality of passenger service by increasing the level of comfort and services provided, increasing their availability, as well as providing more economical options. Therefore, the development of passenger hubs today is an important aspect not only of passenger logistics, but also a significant factor in improving the efficiency of the country's transport system, increasing its economic stability and transport and economic security, as well as improving the quality of life of the population.

Keywords: *passenger transport hub, influencing factors, accessibility, efficiency, transport system, design and development.*

Introduction

The transport system of any state is a fundamental link in its economy in view of the fact that it provides not only the movement of raw materials and finished products, as well as the transit of goods and raw materials, but also ensures the mobility of the economically active population and satisfies the recreational needs of people. Therefore, the modern transport system is not only the effective functioning of all modes of transport included in it, and the corresponding infrastructure, but, above all, their interaction and complementarity, the purpose of which is to fully satisfy the needs of the client – the cargo owner or passenger.

The transportation industry has long been an essential component of modern civilization, facilitating the mobility of both individuals and enterprises [1]. At the same time, it is relevant to use the so-called «hubs», which are a transport interchange hub, including a comfortable interchange zone that unites all types of public transport at one point. The choice and development of hubs for passenger traffic is an important component of the country's transport and logistics system, which requires special attention, since the subsequent choice for the use of the hub by passengers is based not only on the possibility of obtaining the main transport service, but also on the complex of related services of the passenger logistics complex.

Purpose of the study

The selection of the optimal hub for passenger transportation is of the utmost importance, as it can substantially affect the effectiveness and efficiency of the transportation system [2]. At the same time, from the standpoint of economic efficiency, it can be characterized as a complex economic and mathematical model that includes several variables, the main of which are availability, connectivity, throughput, and efficiency [3]. Their consideration as fundamental factors (in combination with secondary factors that are significant in specific conditions) in the construction and modernization of transport hubs and terminals of various categories will significantly simplify the functioning of the passenger transport system and increase their efficiency.

The purpose of this article is to consider various factors and their combinations that arise in practice and are significant in the design of new passenger transport hubs or in the modernization and improvement of existing ones.

The determining the significance of factors

Accessibility – is one of the primary factors determining a location's suitability as a transportation hub. The hub must be situated in a location that is simple to get to and well-linked to various forms of transportation [4; 5]. Such areas include highways, railroads, and airports. In addition, it should be noted that the proximity of a transport hub to residential areas, shopping areas and tourist sites also significantly affects its accessibility. However, at the same time, when planning large hubs, this factor has an inverse effect on the attractiveness of adjacent residential areas.

The transportation hub must handle many passengers and cargo. This requires the hub to have adequate facilities, such as terminals, parking lots, and baggage handling systems. This factor should take into account that the capacity of the hub must meet the requirements of the transport system to ensure its efficiency.

When designing and subsequently maintaining a hub, an important aspect is its location and the necessary characteristics (throughput, baggage handling volumes, etc.). This includes the initial investment, operating costs, and maintenance expenses [6]. That is why the design should take into account the potential indicators of the economic efficiency of the transport hub in comparison with its potential benefits for the overall transport system.

The hub should provide uninterrupted communication between different modes of transport, their convenient «docking» for passengers [7]. This means that travelers should be able to change from one mode of transport to another without experiencing significant delays or difficulties. Such multi-

modal connectivity of nodes is necessary to improve the efficiency and effectiveness of the transport system, since the lack of passenger logistics has a negative impact on traffic volumes and their final efficiency.

The transport hubs must provide travelers with a comfortable and convenient environment [8]. This implies that it has to include features like dining establishments, retail stores, and lounges. These amenities may greatly enhance the whole travel experience and increase passenger satisfaction. It should be noted that these consumer preferences are not always possible to take into account in full, as they excessively increase the number of influencing factors (variables) taken into account in the economic and mathematical model for calculating the potential efficiency from the operation of a particular passenger hub.

Therefore, in the context of hub selection, factor analysis can uncover the essential aspects influencing the selection reason for passenger transportation hubs [9]. It assists in minimizing the number of variables and summarizing their interrelationships. Using factor analysis to determine the reason for picking passenger transportation hubs, we may identify the most significant decision-making factors. Transportation planners and decision-makers may make informed judgments about the location, design, and development of hubs that best serve the needs of passengers and the transportation system through factor analysis.

It is important to note that modern transportation systems rely heavily on passenger transportation hubs. They play a crucial role in easing the flow of persons and products, fostering mobility, and linking communities. Depending on criteria such as geographic location, population density, economic development, and transportation infrastructure, the experiences of various nations in utilizing passenger transportation hubs can vary significantly. One of the most notable instances of a highly developed passenger transportation hub is the Tokyo Metropolitan Area in Japan. For instance, Haneda Airport is the primary base of Japan's two major domestic airlines, Japan Airlines (JAL) and Skymark Airlines. It handles more domestic flights than Narita Airport, with over 80 million passengers in 2022. For example, Tokyo Station is a central transportation hub with trains and buses connecting it to Haneda Airport. At the same time, free access is also provided directly to Tokyo and back, transfer transport terminals and nearby hotels of various classes. These transportation hubs serve as entry points for people traveling in and out of Japan, linking them to various regions. The Japanese government has invested considerably in developing these transportation hubs, and as a result, they are equipped with cutting-

edge facilities and offer passengers seamless connectivity.

In Europe, the experience of using passenger transportation hubs differs significantly across countries. Several large airports and train stations serve as transportation hubs in the United Kingdom's well-developed transportation network. London Heathrow, London Gatwick, and Manchester Airport are among the busiest airports in the UK, connecting travelers to destinations within and outside the country. Multiple airports and train terminals serve as passenger centers in cities like Paris and Berlin, with well-developed transit networks.

At the same time, in other countries where the transit passenger traffic is not so large, as well as the volumes of incoming and outgoing passenger flows, the experience of effective functioning of passenger hubs is not so great. Passengers in such countries often need logistical support in the implementation of transport services due to long waiting times, poor communication and insufficient comfort of the terminals. The Head of such countries needs not only to implement measures to develop transport infrastructure, but also to make appropriate investments in the development of passenger hubs, as a result of which the experience and efficiency of their use is gradually increasing.

At the same time, the developing nations frequently require assistance in constructing multimodal transportation hubs. However, many developing nations are modernizing their transportation infrastructure, and constructing passenger transit hubs is a significant aspect of their efforts. It should be noted that India, for example, has been enhancing its transportation infrastructure. It has established several multimodal transportation hubs, like the Mumbai Central Terminal, as transfer locations for trains, buses, and taxis. Consequently, the creation of passenger transportation hubs is beneficial both for the individual consumer – the passenger, and for society as a whole. It should be noted that an important element of the logistics of passenger transportation is the quality management of passenger service during the period of initial and final operations, i. e. the complex of station services [12]. First, it enables a seamless transfer between various transportation forms, saving travel time and making it easier for individuals to reach their destination. Secondly, it facilitates public transportation by decreasing traffic congestion and air pollution. As well as well-designed passenger hubs bring economic benefits, including increased jobs and employment opportunities for skilled workers of various categories, and as a result, increased economic activity in the surrounding areas.

Conclusion

Returning to the need for a qualitative selection of factors for factor analysis in the design and development of passenger hubs, it is important to note that in order to provide passengers with a seamless transportation experience, different nations have different selections of criteria that influence the utilization of passenger transportation hubs. Thus, the main factors evaluated and taken into account when building an economic and mathematical model are the following:

- the place where transportation hubs are located greatly affects how they are used [5]. A centrally placed hub with easy access to main thoroughfares, motorways, and airports may attract more travelers and boost use;

- the usage of transportation hubs may be improved by a well-connected transportation network, including an intermodal connection between various forms of transportation [7]. Public transportation services, including buses and trains, may be integrated with the hub to provide a seamless connection to passengers, reducing travel time and enhancing the entire travel experience;

- in terms of the infrastructure component Having enough parking spaces, waiting rooms, and food and retail alternatives may greatly improve the utilization of transit hubs. Having basic amenities like toilets and ticketing areas is another way to enhance the passenger experience;

- the safety and security of transportation hubs are crucial factors that influence their use. Adequate security measures, such as CCTV cameras and security personnel, can provide a secure environment for passengers, increasing their confidence in the hub;

- the cost of using transportation hubs, including parking, ticketing, and other amenities, can impact the frequency of use. The availability of hubs and the cost of alternative modes of transport have a significant impact on passenger choice of hubs.

When compiling an economic and mathematical model that will allow evaluating the efficiency of an existing or designing a new passenger hub, the above factors must be taken into account not in equal shares, since their influence is unequal, but taking into account the coefficients of significance. It is possible to obtain such coefficients by ranking the necessary factors using the method of expert assessments or by questioning passengers. The values obtained in this way make it possible to effectively simulate in practice the results of the functioning of passenger hubs, the transport system and their impact on the main indicators of the socio-economic development of the region (including population mobility, the level and structure of employment, the availability of healthcare, educational and recreational services).

The development of passenger transport hubs also aims to help transport companies and related service providers improve the passenger experience by improving amenities and services, increasing accessibility and connectivity, and providing more economical choices.

References

1. Jittrapirom, P., Caiati, V., Mobility as a Service: A Critical Review of Definitions, Assessments of Schemes, and Key Challenges. / P. Jittrapirom, V. Caiati, A.-M. Feneri, S. Ebrahimigharehbaghi, M. J. A. González, J. Narayan // *Urban Planning*. – 2017. – Volume 2, Issue 2. – P. 13–25.

2. Xu, Z., Bai, Q., Shao, Y., Hu, A., & Dong, Z. A review on passenger emergency evacuation from multi-modal transportation hubs. / Z. Xu, Q. Bai, Y. Shao, A. Hu, Z. Dong // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. – 2022. – № 9(4). P. 591–607.

3. Liu, F., Tang, G., Li, Y., Cai, Z., Zhang, X., Zhou, T. A. Survey on Edge Computing Systems and Tools. / F. Liu, G. Tang, Y. Li, Z. Cai, X. Zhang, T. A. Zhou // *Proceedings of the IEEE*. – 2019. – № 107(8). – P. 1537–1562.

4. Tater, A. Accessibility to Transport Facility: A Case Study of Jodhpur, Rajasthan. / A. Tater // *Sustainable Smart Cities in India*. – 2017. – P. 577–602.

5. Banks, N. C., Paini, D. R., Bayliss, K. L., & Hodda, M. The role of global trade and transport network topology in the human-mediated dispersal of alien species. / N. C. Banks, D. R. Paini, K. L. Bayliss, M. Hodda // *Ecology Letters*. – 2014. – № 18(2). – P. 188–199.

6. Tumma, A., Berzou, S., Jaques, K., Shah, D., Smith, A. C., & Thomas, E. E. Considerations for the Implementation of a Telestroke Network: A Systematic Review. / A. Tumma, S. Berzou, K. Jaques, D. Shah, A. C. Smith, E. E. Thomas // *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*. – 2022. – № 31(1). – P.16–25.

It should also be noted that the development of passenger hubs today is an important aspect not only of passenger logistics, but also a significant factor in improving the efficiency of the country's transport system, increasing its level of economic stability and transport and economic security.

7. Allard, R. F., Moura, F. The Incorporation of Passenger Connectivity and Intermodal Considerations in Intercity Transport Planning. / R. F. Allard, F. Moura // *Transport Reviews*. – 2015. – № 36(2). – P. 251–277.

8. Chen, Y., Wu, C.-L., Koo, T. T. R., Douglas, I. Determinants of airport retail revenue: a review of the literature. / Y. Chen, C.-L. Wu, T. T. R. Koo, I. Douglas // *Transport Reviews*. – 2020. – № 40(4). – P. 479–505.

9. Hair, J. F., Babin, B. J., Krey, N. Covariance-Based Structural Equation Modeling in the Journal of Advertising: Review and Recommendations. / J. F. Hair, B. J. Babin, N. Krey // *Journal of Advertising*. – 2017. – № 46(1). – P. 163–177.

10. Mikhalchenko, A. A. Optimization of strategies for investment activity on the railway / A. A. Mikhalchenko, V. S. Kotsur // *Problems of security in transport: mater. VII inter-people. scientific-practical. conf.* – Gomel: BelSUT, 2020. – P.147–148. (in Russian)

11. Khodoskina, O. A. The place of logistics resources in the work of railway transport. / O. A. Khodoskina // *Problems of security in transport: materials of the IX International. scientific-pract. conf.* / Under the total. ed. Yu. I. Kulazhenko. – Gomel: BelSUT, 2019. – S. 174–175. (in Russian)

12. Khodoskina, O. A. Scientific approach as a factor in the effective application of the logistics of railway passenger transportation / O. A. Khodoskina // *Problems of security in transport: materials of the X International. scientific-pract. conf.* At 5 p.m. – p. 3 / Under the general. ed. Yu. I. Kulazhenko. – Gomel: BelSUT, 2020. – P. 157–158. p. (in Russian).

ХОДОСКИНА О. А., канд. экон. наук, доцент
кафедры «Экономика транспорта»
E-mail: for_diplomnic@mail.ru

ХЖАН Юйбо, магистр экономических наук
E-mail: 994793124@qq.com

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 21.07.2023

ЗНАЧЕНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ХАБОВ В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ: ФАКТОРЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Современная транспортная система включает не только эффективное функционирование всех видов транспорта, входящих в нее, и соответствующей инфраструктуры, но также и их взаимодействие и взаимодополнение, целью которого является максимально полное удовлетворение потребностей клиента – грузовладельца или пассажира. В связи с этим сегодня актуален вопрос проектирования и развития пассажирских транспортных узлов – хабов, характеризующихся всем необходимым комплексом оказываемых пассажиру транспортных и сопутствующих услуг. Поэтому выбор и развитие хабов для пассажирских перевозок является важной составляющей транспортно-логистической системы страны, требующей к себе особенного внимания, так как последующий выбор для использования хаба пассажирами основывается не только на возможности получения основной транспортной услуги, но также и на комплексе сопутствующих значимых для пассажира услуг. Это определяет набор влияющих факторов, учитываемых при проектировании пассажирских транспортных хабов, а также включаемых в экономико-математическую модель, позволяющую оценить не только эффективность функционирования существующих пассажирских транспортных узлов и направления их развития, но также и оценить потенциальную эффективность при проектировании пассажирских хабов.

Значение развития пассажирских транспортных хабов определяется необходимостью улучшения качества обслуживания пассажиров за счет повышения уровня комфорта и предоставляемых услуг, увеличения их доступности, а также предоставления вариантов более экономичного выбора. Поэтому развитие пассажирских хабов сегодня является важным аспектом не только пассажирской логистики, но и значимым фактором повышения эффективности функционирования транспортной системы страны, повышения уровня ее экономической устойчивости и транспортной и экономической безопасности, а также – повышения качества жизни населения.

Ключевые слова: пассажирский транспортный хаб, влияющие факторы, доступность, эффективность, транспортная система, проектирование и развитие.

Литература

1. Jittrapirom, P., Caiati, V., Mobility as a Service: A Critical Review of Definitions, Assessments of Schemes, and Key Challenges. / P. Jittrapirom, V. Caiati, A. M. Feneri, S. Ebrahimigharehbaghi, M. J. A. González, J. Narayan // Urban Planning. – 2017. – Volume 2, Issue 2. – P. 13–25.

2. Xu, Z., Bai, Q., Shao, Y., Hu, A., & Dong, Z. A review on passenger emergency evacuation from multi-modal transportation hubs. / Z. Xu, Q. Bai, Y. Shao, A. Hu, Z. Dong // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). – 2022. – № 9(4). P. 591–607.

3. Liu, F., Tang, G., Li, Y., Cai, Z., Zhang, X., Zhou, T. A. Survey on Edge Computing Systems and Tools. / F. Liu, G. Tang, Y. Li, Z. Cai, X. Zhang, T. A. Zhou // Proceedings of the IEEE. – 2019. – № 107(8). – P. 1537–1562.

4. Tater, A. Accessibility to Transport Facility: A Case Study of Jodhpur, Rajasthan. / A. Tater // Sustainable Smart Cities in India. – 2017. – P. 577–602.

5. Banks, N. C., Paini, D. R., Bayliss, K. L., & Hodda, M. The role of global trade and transport network topology in the human-mediated dispersal of alien species. / N. C. Banks, D. R. Paini,

K. L. Bayliss, M. Hodda // *Ecology Letters*. – 2014. – № 18(2). – P. 188–199.

6. Tumma, A., Berzou, S., Jaques, K., Shah, D., Smith, A. C., & Thomas, E. E. Considerations for the Implementation of a Telestroke Network: A Systematic Review. / A. Tumma, S. Berzou, K. Jaques, D. Shah, A. C. Smith, E. E. Thomas // *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*. – 2022. – № 31(1). – P. 16–25.

7. Allard, R. F., Moura, F. The Incorporation of Passenger Connectivity and Intermodal Considerations in Intercity Transport Planning. / R. F. Allard, F. Moura // *Transport Reviews*. – 2015. – № 36(2). – P. 251–277.

8. Chen, Y., Wu, C.-L., Koo, T. T. R., Douglas, I. Determinants of airport retail revenue: a review of the literature. / Y. Chen, C.-L. Wu, T. T. R. Koo, I. Douglas // *Transport Reviews*. – 2020. – № 40(4). – P. 479–505.

9. Hair, J. F., Babin, B. J., Krey, N. Covariance-Based Structural Equation Modeling in the Journal of Advertising: Review and Recommendations. /

J. F. Hair, B. J. Babin, N. Krey // *Journal of Advertising*. – 2017. – № 46(1). – P. 163–177.

10. Михальченко, А. А. Оптимизация стратегий инвестиционной деятельности на железнодорожном / А. А. Михальченко, В. С. Коцур // Проблемы безопасности на транспорте : матер. VII между-народ. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С.147–148.

11. Ходоскина, О. А. Место логистических ресурсов в работе железнодорожного транспорта. / О. А. Ходоскина // Проблемы безопасности на транспорте: материалы IX Международ. науч.-практ. конф. / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2019. – С. 174–175.

12. Ходоскина, О. А. Научный подход как фактор эффективного применения логистики железнодорожных пассажирских перевозок / О. А. Ходоскина // Проблемы безопасности на транспорте: материалы X Международ. науч. – практ. конф. В 5 ч. – ч. 3 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 157–158.

ФИЛИППОВА Н. А., д-р техн наук, профессор
кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы»^{1,3}
E-mail: umen@bk.ru

ЛЕБЕДЕВ М. П., д-р техн. наук,
член-корреспондент РАН, генеральный директор²
E-mail: m.p.lebedev@prez.ysn.ru

СОСИН М. А., магистрант¹
E-mail: msosin87@mail.ru

ТРИФОНОВ Н. В., магистрант¹
E-mail: nikolaitrifonov987@gmail.com

¹ФГАОУ ВО Северо-Восточный Федеральный университет им. М. К. Аммосова,
Якутск, Россия

²Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского
отделения Российской академии наук» (ЯНЦ СО РАН), Якутск, Россия

³ОАО «НИИАТ», Москва, Россия

Поступила в редакцию 04.09.2023

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ

В статье подчеркивается важность организационной структуры для эффективного функционирования любой промышленной или торговой организации. Организационная структура определяет скорость, надежность и стоимость перевозок, и как следствие, конкурентоспособность компании в целом.

Авторы представляют обзор основных типов организационных структур, используемых в транспортной логистике, включая функциональную, продуктовую (или дивизиональную), матричную, проектную и гибридную структуры. Каждый тип структуры рассматривается в контексте его преимуществ и недостатков, а также возможностей применения в различных условиях.

В статье также приводятся примеры организационных структур крупных международных транспортно-логистических компаний, таких как DHL, FedEx, Maersk, UPS и C. H. Robinson. Эти примеры позволяют продемонстрировать разнообразие подходов к организации работы в транспортной логистике и выявлять наиболее эффективные практики.

Особое внимание в статье уделено анализу организационной структуры СЛТК и возможностям ее оптимизации. Авторы предлагают несколько альтернативных подходов, которые могут помочь улучшить эффективность и гибкость работы компании. В частности, рассматриваются возможности перехода к матричной или гибридной структуре, использования проектной структуры для обработки уникальных проектов или задач, а также улучшения внутренней коммуникации и координации.

В заключении статьи подчеркивается, что выбор оптимальной организационной структуры требует комплексного анализа и должен учитывать множество факторов, включая текущую стратегию бизнеса, требования клиентов, внутренние ресурсы и способности, а также тенденции и возможности в области транспортной логистики. Авторы подчеркивают, что любые изменения в организационной структуре должны сопровождаться адекватными изменениями в корпоративной культуре и системе управления, а также поддержкой и обучением сотрудников.

В целом, статья представляет собой ценный источник информации для специалистов в области транспортной логистики, а также для руководителей и владельцев бизнеса, которые хотят улучшить эффективность своих операций и повысить конкурентоспособность своих компаний.

Ключевые слова: организационная структура, транспортная логистика, «Сибирская Линия Транспортная Компания» (СЛТК), функциональная структура, матричная структура, дивизиональная структура, гибридная структура, проектная структура.

Введение

В современном мире транспортная логистика играет решающую роль в обеспечении эффективного функционирования любой промышленной или торговой организации. Ключевым звеном в этом процессе является организационная структура подразделений транспортной логистики, которая определяет скорость, надежность и стоимость перевозок, и как следствие, конкурентоспособность компании в целом.

Важность этого аспекта обуславливает необходимость глубокого исследования и анализа существующих моделей организационных структур в логистической отрасли. Мировая практика показывает множество успешных примеров эффективных организационных структур, которые позволяют существенно повысить эффективность деятельности.

Однако, в каждом конкретном случае необходимо учитывать специфику деятельности компании, ее рыночное положение, особенности географии и типов грузов, а также множество других параметров. Именно поэтому важно не только изучать опыт других компаний, но и иметь гибкость для адаптации исследованных моделей под уникальные условия и требования своего бизнеса.

В этой связи, статья сосредоточена на анализе организационной структуры подразделения транспортной логистики на примере российской компании «Сибирская Линия Транспортная Компания» (СЛТК). СЛТК важный игрок на рынке транспортных услуг России, оказывая услуги автомобильных, контейнерных и железнодорожных перевозок груза по всей стране. Компания постоянно совершенствует свою деятельность, стремясь улучшить качество предоставляемых услуг и повысить уровень удовлетворенности клиентов.

Этот случай представляет особый интерес для исследования, поскольку компания активно использует современные технологии, такие как системы контроля «Глонасс», для отслеживания маршрута движения товаров, что позволяет нам оценить влияние технологического прогресса на организационную структуру и эффективность работы подразделений транспортной логистики.

В целом, цель данной статьи – предложить оптимизированную организационную структуру для подразделения транспортной логистики,

которая бы отвечала современным требованиям эффективности и способствовала повышению конкурентоспособности СЛТК и других компаний в этой отрасли. Мы надеемся, что результаты нашего исследования будут полезны как для специалистов в области логистики, так и для руководителей компаний, которые стремятся оптимизировать свою деятельность и повысить эффективность работы своих подразделений транспортной логистики.

Основная часть

Организационная структура в транспортной логистике – это система взаимодействия между различными подразделениями и сотрудниками, обеспечивающая координацию и контроль за выполнением рабочих задач. В сфере транспортных перевозок важность правильно выбранной структуры взаимоотношений трудно переоценить, так как она влияет на эффективность работы всего предприятия, скорость принятия и качество решений, возможность адаптации к изменениям внешней среды и другие важные параметры [1].

В области транспортной логистики широко используются следующие типы организационных структур:

Функциональная структура. Это классический вариант организационной структуры, который предусматривает разделение работы на функциональные блоки (например, отделы закупок, продаж, транспортировки, складского хозяйства и т. д.). Каждый блок работает независимо от других и имеет своего руководителя, ответственного за результат работы подразделения.

Продуктовая (или дивизиональная) структура. В такой структуре подразделения организованы вокруг конкретных продуктов или услуг. Это может быть полезно для компаний, оказывающих разнообразные виды услуг, так как позволяет сосредоточиться на конкретных потребностях клиентов и требованиях рынка.

Матричная структура. Это смешанный тип организационной структуры, объединяющий элементы функциональной и продуктовой структуры. Сотрудники в такой структуре подчиняются одновременно двум руководителям – функциональному и продуктовому.

Проектная структура. Это организационная структура, в которой команды формируются для работы над конкретными проектами. По-

сле завершения проекта команда расформируется, а ее участники могут быть включены в новые проекты.

Гибридная структура. В такой структуре используются элементы нескольких типов структур. Это позволяет компании гибко подстраиваться под изменяющиеся условия и потребности бизнеса.

Чтобы дать конкретные примеры и проанализировать организационные структуры в контексте транспортной логистики, обратимся к международной практике.

DHL: Будучи одной из ведущих логистических компаний в мире, DHL использует матричную структуру. Это обеспечивает гибкость в организации бизнес-процессов и управления, позволяя совместить лучшие практики функциональной и продуктовой структуры. У каждого географического региона и функционального блока есть свой руководитель, а конечные решения принимаются совместно.

FedEx: Эта компания предпочитает дивизиональную структуру, с организацией работы вокруг отдельных бизнес-единиц, каждая из

которых предлагает конкретный набор услуг. Это обеспечивает высокий уровень специализации и позволяет лучше удовлетворить потребности клиентов.

Maersk: Мировой лидер в области контейнерных перевозок Maersk использует гибридную структуру. Они комбинируют функциональную и продуктовую структуры для достижения оптимальной эффективности и гибкости. Они разделили свои бизнес-единицы по типу услуг, но при этом у них есть функциональные отделы, такие как отдел ИТ, который работает через все бизнес-единицы.

UPS: UPS использует функциональную структуру с четким разделением обязанностей и ролей между различными отделами. Это позволяет компании обеспечивать высокий уровень специализации и контроля качества работы.

С. Н. Robinson: Эта компания использует проектную структуру, организуя команды вокруг конкретных задач и проектов, что обеспечивает гибкость и способность быстро адаптироваться к изменяющимся условиям [2; 3].

Таблица 1 – Организационные структуры крупных транспортно-логистических компаний

Компания	Тип структуры	Причины выбора
DHL	Матричная	Гибкость, комбинирование лучших практик функциональной и продуктовой структуры.
FedEx	Дивизиональная	Специализация, удовлетворение специфических потребностей клиентов.
Maersk	Гибридная	Комбинация функциональной и продуктовой структур для оптимальной эффективности.
UPS	Функциональная	Специализация, строгий контроль качества.
С. Н. Robinson	Проектная	Гибкость, способность быстро адаптироваться к изменениям.

Рассматривая транспортно-логистические фирмы, необходимо обозначить что условия работы в Якутии крайне специфичны, учитывая климат и развитость транспортной системы Якутии [13].

Климатические условия: Якутия известна своими суровыми зимами, когда температура может опускаться до -50 градусов Цельсия и ниже. Аномальные метеорологические условия Севера характеризуются мощными температурными инверсиями, возникающими при антициклоне за счет излучения вечномерзлого грунта при экстремально низких температурах

окружающего воздуха, и условиями застоя воздуха. Эти условия окружающей среды оказывают влияние как на частоту аварий, так и на дальность зоны действия поражающих факторов при аварии [10].

Это создает серьезные проблемы для транспортных средств и инфраструктуры, которые должны быть специально адаптированы для работы в таких условиях. Кроме того, в периоды таяния весной и осенью многие дороги становятся непроходимыми из-за грязи и болот.

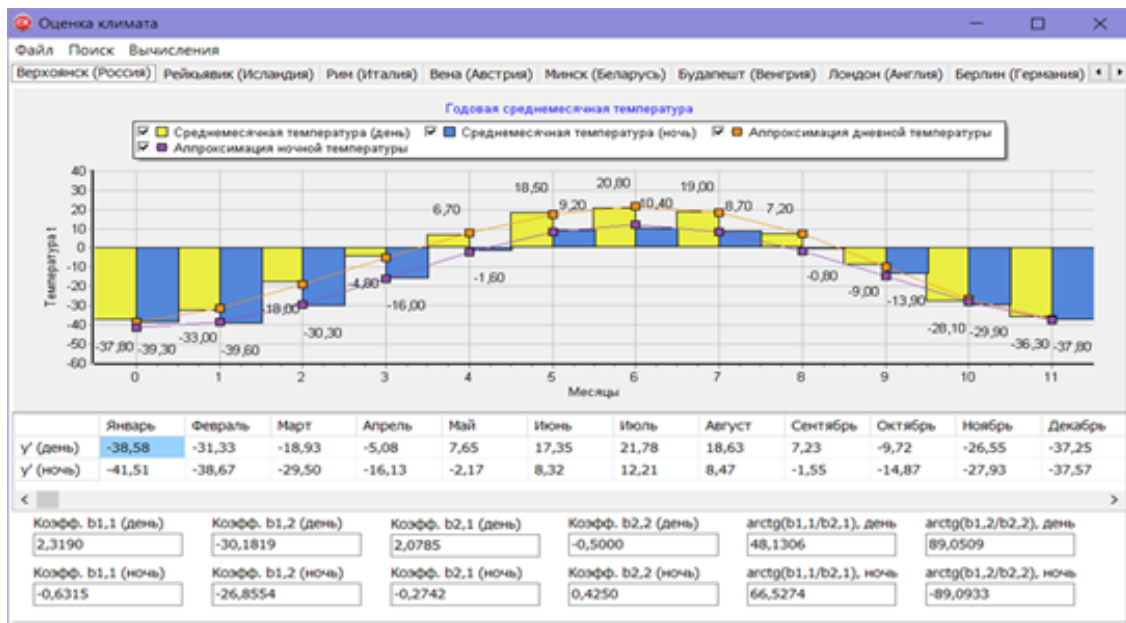


Рисунок 1 – Сезонные колебания температуры воздуха

Протяженность территории: Якутия – одно из самых больших и слабо населенных регионов России. Большая часть территории не имеет постоянных дорог, что затрудняет доставку товаров и услуг.

Автозимники. В связи с отсутствием постоянных дорог, в Якутии широко используются так называемые «автозимники» – временные зимние дороги, проложенные по замерзшим рекам и болотам. Они играют ключевую роль в логистике региона, но их использование ограничено коротким зимним периодом.

Северный морской путь. С развитием глобального потепления и уменьшением ледового

покрова в Арктике, Северный морской путь становится все более важным для логистики Якутии. Этот маршрут позволяет сократить время доставки товаров из Европы в Азию и обратно, но он также представляет собой серьезные технические и экологические вызовы.

Авиационная логистика. Ввиду отсутствия дорог и сложности использования морских путей, авиация играет важную роль в логистике Якутии. Однако высокие затраты на авиаперевозки ограничивают их использование для большинства товаров [8].

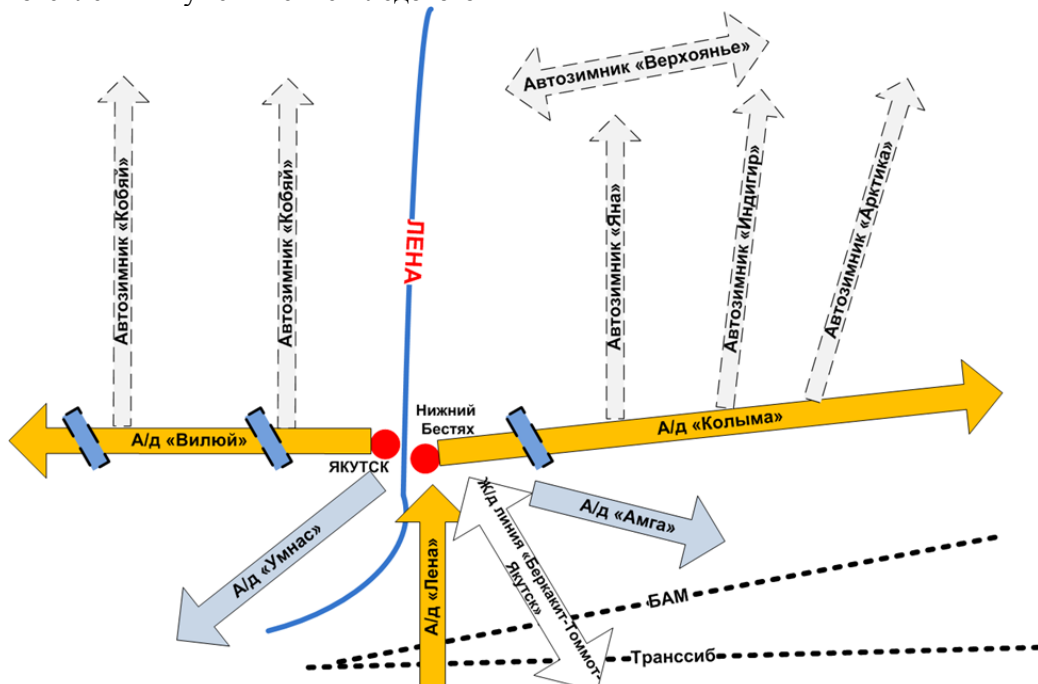


Рисунок 2 – Схема опорной транспортной сети Республики Саха (Якутия)

В целом, логистика в Якутии требует особого подхода и инновационных решений. Несмотря на все трудности, она продолжает развиваться, адаптируясь к изменяющимся условиям и используя новые технологии и стратегии. Это включает в себя все, от улучшения инфраструктуры и транспортных средств, до разработки новых методов управления и планирования, которые могут справиться с уникальными вызовами этого региона.

В настоящее время все более активно продвигаются мероприятия по постройке торгово-логистических центров, они должны появиться во всех арктических районах Якутии к 2024 году [14].

Создание торгово-логистических центров в Якутии имеет значительные перспективы и принесет множество преимуществ для региона.

Улучшение инфраструктуры. Торгово-логистические центры стимулируют развитие инфраструктуры в регионе, включая дороги, порты и аэропорты. Это, в свою очередь, улучшает доступность и качество транспортных услуг, что положительно сказывается на экономике региона.

Создание рабочих мест. Торгово-логистические центры создают новые рабочие места, что помогает снизить уровень безработицы и улучшить экономическое положение населения.

Увеличение торгового оборота. Логистические центры увеличивают торговый оборот региона, облегчая транзит товаров через Якутию. Это приводит к увеличению налоговых поступлений и общего экономического роста.

Развитие местного предпринимательства. Логистические центры стимулируют развитие местного предпринимательства, предоставляя предприятиям доступ к более широкому рынку и улучшая их способность конкурировать на национальном и международном уровнях.

Улучшение качества жизни. Улучшение доступности товаров и услуг приводит к улучшению качества жизни населения.

В целом, влияние торгово-логистических центров на экономику Якутии может быть значительным, но конкретные результаты будут зависеть от многих факторов, включая эффективность управления и реализации проектов, а также общую экономическую и политическую ситуацию в регионе и стране.

Перейдем к рассмотрению «Сибирская Линия Транспортная Компания» (СЛТК) в контексте организационной структуры.

СЛТК активно работает в сфере автомобильных, контейнерных и железнодорожных перевозок груза по России с 2008 года. Компа-

ния использует функциональную организационную структуру, где каждый отдел занимается своим конкретным направлением работы: автомобильные перевозки, контейнерные перевозки, железнодорожные перевозки, работа с клиентами и так далее. Такой подход позволяет каждому подразделению концентрироваться на своей конкретной задаче и достигать максимальной эффективности.

Однако, учитывая динамичность и сложность современной логистической сферы, функциональная структура может столкнуться с определенными препятствиями. Например, координация между отделами может быть затруднена из-за отсутствия единой коммуникационной платформы или интегрированной информационной системы.

В этом контексте возникает вопрос о необходимости оптимизации организационной структуры СЛТК для повышения ее эффективности и гибкости. Опираясь на международные практики, можно рассмотреть несколько возможных альтернатив.

Матричная структура. Сочетание функциональной и продуктовой моделей, которое позволяет улучшить координацию и коммуникацию между отделами. Это может помочь в обработке комплексных проектов и больших клиентов, требующих интеграции различных видов перевозок.

Дивизиональная структура. Организация работы вокруг отдельных бизнес-единиц, каждая из которых предлагает конкретный набор услуг. Это может быть эффективно, если СЛТК решит расширить свое присутствие в новые рыночные сегменты или географические регионы.

Гибридная структура. Сочетание различных организационных моделей для достижения оптимальной эффективности. Это может включать в себя элементы матричной и дивизиональной структур, а также использование проектных команд для обработки комплексных задач.

Проектная структура. Организация команд вокруг конкретных задач или проектов. Это может быть полезно для обработки сложных или уникальных проектов, которые требуют специальных навыков и знаний [4; 5].

Определение наиболее подходящей организационной структуры для СЛТК требует комплексного анализа. Стоит учесть множество факторов, включая текущую стратегию бизнеса, требования клиентов, внутренние ресурсы и способности, а также тенденции и возможности в области транспортной логистики [6].

На данном этапе важно понимать, что нет «идеальной» организационной структуры, которая подошла бы всем компаниям. Любая структура имеет свои преимущества и недостатки, и оптимальный выбор зависит от конкретного контекста и ситуации. Тем не менее, проведенный анализ позволяет выявить несколько ключевых направлений для дальнейшего развития организационной структуры СЛТК.

Во-первых, стоит рассмотреть возможность перехода к матричной или гибридной структуре. Это может помочь улучшить координацию и коммуникацию между отделами, а также обеспечить большую гибкость в обработке сложных проектов и задач. Вместе с тем, такой переход потребует значительных усилий для реорганизации рабочих процессов и внедрения новых принципов управления.

Во-вторых, СЛТК может рассмотреть использование проектной структуры для обработки уникальных проектов или задач. Это позволит компании лучше удовлетворить потребности клиентов, которые требуют индивидуального подхода и гибких решений.

В-третьих, возможно, СЛТК стоит уделить больше внимания внутренней коммуникации и координации, независимо от выбранной организационной структуры. Это может включать в себя внедрение новых ИТ-решений для улучшения обмена информацией, а также проведение регулярных встреч и семинаров для сотрудников различных отделов [7; 8].

Наконец, важно учитывать, что любые изменения в организационной структуре должны сопровождаться адекватными изменениями в

корпоративной культуре и системе управления. Особое внимание следует уделить обучению и подготовке сотрудников, которые будут вовлечены в новые рабочие процессы и функции.

Компания должна быть готова поддержать своих сотрудников в этом переходном периоде, предоставляя необходимые ресурсы и помощь. Это может включать в себя обучающие семинары, консультации и менторство, а также материальную поддержку в виде нового оборудования или программного обеспечения [9; 10].

Заключение

Внедрение новой организационной структуры – это сложный и длительный процесс, который требует тщательного планирования и управления. Однако, если выполнить его правильно, это может привести к значительному улучшению эффективности и продуктивности компании, а также улучшить удовлетворенность клиентов и сотрудников.

В заключение, стоит отметить, что организационная структура является ключевым фактором успеха любой компании, включая СЛТК. Поэтому важно постоянно анализировать и оптимизировать эту структуру в соответствии с изменениями внешней среды и внутренних потребностей компании. Только так можно обеспечить стабильный рост и развитие в долгосрочной перспективе.

Важно помнить, что эффективная организационная структура – это не статичный элемент, а динамичный инструмент, который требует постоянной оценки, корректировки и улучшения.

Литература

1. Armstrong, M., & Taylor, S. «Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice». – Kogan Page Publishers, 2020.
2. Chandler, A. D. «Strategy and Structure: Chapters in the History of the Industrial Enterprise». – MIT Press, 1962.
3. Coyle, J. J., Langley, C. J., Novack, R. A., & Gibson, B. J. «Supply Chain Management: A Logistics Perspective». – South-Western College Pub, 2020.
4. Daft, R. L. «Organization Theory & Design». – South-Western College Pub, 2015.
5. Mintzberg, H. «Structure in Fives: Designing Effective Organizations». – Prentice Hall, 1993.
6. Rodrigues, V., Stank, T., & Lynch, D. «Handbook of Transport and Supply Chain Man-

agement». – Emerald Group Publishing Limited, 2019.

7. Алекперов, В. А. Логистика: учебник / В. А. Алекперов, В. М. Швейцер. – М.: Инфра-М, 2019.

8. Беляев, В. М. Основы организации транспортной системы северных регионов / В. М. Беляев, Н. А. Филиппова // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15, № 1(68). – С. 162–167.

9. Галаганова, Л. С. Организационная структура компании: теория и методика формирования / Л. С. Галаганова. – М.: Дело и Сервис, 2018.

10. Лебедев, М. П. Методическое пособие по оценке риска аварий опасных производственных объектов нефтегазовой отрасли в условиях Севера / М. П. Лебедев, А. М. Большаков, М. И. Захарова. – Якутск : Северо-

Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, 2018. – 28 с.

11. Микульский, В. П. Организационные структуры управления / В. П. Микульский. – М.: Экономика, 2017.

12. Соколова, А. В. Транспортная логистика / А. В. Соколова, Е. М. Жуков. – М.: Инфра-М, 2020.

13. Филиппова, Н. А. Перспективы развития транспортной доступности Арктических улу-

сов Республики Саха (Якутия) / Н. А. Филиппова, А. Е. Иванова, А. М. Ишков // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1–2(80). – С. 50–56.

14. Филиппова, Н. А. Обеспечение эффективности транспортных процессов в районах Крайнего Севера / Н. А. Филиппова, Д. Б. Ефименко, А. А. Ледовский // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16, № 4(77). – С. 150–159.

UDK 338

FILIPOVA NADEZHDA A., Doctor of Technical Sciences, Professor of the «Automobile Roads and Airfields» Department^{1,3}
Email: umen@bk.ru

LEBEDEV MIKHAIL P., Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, General Director²
E-mail: m.p.lebedev@prez.yasn.ru

SOSIN MIKHAIL A., Master Student¹
E-mail: msosin87@mail.ru

TRIFONOV NIKOLAY V., Master Student¹
E-mail: nikolaitrifonov987@gmail.com

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

²Federal Research Center «Yakutsk Scientific Center Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Yakutsk, Russia

³JSC "NIIAT", Moscow, Russia

Received 04 September 2023

MODERN APPROACHES TO ORGANIZATIONAL STRUCTURE IN TRANSPORT LOGISTICS

The article emphasizes the importance of the organizational structure for the effective functioning of any industrial or trade organization. The organizational structure determines the speed, reliability and cost of transportation, and as a result, the competitiveness of the company as a whole.

The authors present an overview of the main types of organizational structures used in transport logistics, including functional, product (or divisional), matrix, project and hybrid structures. Each type of structure is considered in the context of its advantages and disadvantages, as well as the possibilities of application in various conditions.

The article also provides examples of organizational structures of large international transport and logistics companies, such as DHL, FedEx, Maersk, UPS and C. H. Robinson. These examples allow us to demonstrate a variety of approaches to organizing work in transport logistics and identify the most effective practices.

Special attention is paid in the article to the analysis of the organizational structure of the SLTC and the possibilities of its optimization. The authors propose several alternative approaches that can help improve the efficiency and flexibility of the company. In particular, the possibilities of switching to a matrix

or hybrid structure, using the project structure to process unique projects or tasks, as well as improving internal communication and coordination are being considered.

In conclusion, the article emphasizes that the choice of the optimal organizational structure requires a comprehensive analysis and must take into account many factors, including the current business strategy, customer requirements, internal resources and capabilities, as well as trends and opportunities in the field of transport logistics. The authors emphasize that any changes in the organizational structure should be accompanied by adequate changes in the corporate culture and management system, as well as support and training of employees.

In general, the article is a valuable source of information for specialists in the field of transport logistics, as well as for managers and business owners who want to improve the efficiency of their operations and increase the competitiveness of their companies.

Keywords: organizational structure, transport logistics, Siberian Line Transport Company (SLTC), functional structure, matrix structure, divisional structure, hybrid structure, project structure.

Reference

1. Armstrong, M., & Taylor, S. «Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice». – Kogan Page Publishers, 2020.

2. Chandler, A. D. «Strategy and Structure: Chapters in the History of the Industrial Enterprise». – MIT Press, 1962.

3. Coyle, J. J., Langley, C. J., Novack, R. A., & Gibson, B. J. «Supply Chain Management: A Logistics Perspective». – South-Western College Pub, 2020.

4. Daft, R. L. «Organization Theory & Design». – South-Western College Pub, 2015.

5. Mintzberg, H. «Structure in Fives: Designing Effective Organizations». – Prentice Hall, 1993.

6. Rodrigues, V., Stank, T., & Lynch, D. «Handbook of Transport and Supply Chain Management». – Emerald Group Publishing Limited, 2019.

7. Alekperov, V. A., Logistics: textbook / V. A. Alekperov, V. M. Schweitzer // M.: Infra-M, 2019.

8. Belyaev, V. M. Fundamentals of the organization of the transport system of the northern regions / V. M. Belyaev, N. A. Filippova // World of Transport. – 2017. – T. 15, No. 1 (68). – P. 162–167.

9. Galaganova, L. S. Organizational structure of the company: theory and methodology of formation / L. S. Galaganova // M.: Delo i Service, 2018.

10. Lebedev, M. P. Methodological manual for assessing the risk of accidents at production facilities of the oil and gas industry in the conditions of the North / M. P. Lebedev, A. M. Bolshakov, M. I. Zakharova. // Yakutsk : North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosova, 2018. – 28 p.

11. Mikulsky, V. P. Organizational structures of management / V. P. Mikulsky. – M. : Economics, 2017.

12. Sokolova A. V. Transport logistics / A. V. Sokolova, E. M. Zhukov. – M.: Infra-M, 2020.

13. Filippova, N. A. Prospects for the development of transport accessibility of the Arctic uluses of the Republic of Sakha (Yakutia) / N. A. Filippova, A. E. Ivanova, A. M. Ishkov // The world of transport and technological machines. – 2023. – No. 1–2 (80). – P. 50–56.

14. Filippova, N. A. Ensuring the efficiency of transport processes in the regions of the Far North / N. A. Filippova, D. B. Efimenko, A. A. Ledovsky // World of Transport. – 2018. – T. 16, No. 4 (77). – P. 150–159.

ФИЛИППОВА Н. А., д-р техн наук, профессор
кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы»¹
E-mail: umen@bk.ru

ЛЕБЕДЕВ М. П., д-р техн. наук,
член-корреспондент РАН, генеральный директор²
E-mail: m.p.lebedev@prez.usn.ru

ИОВЛЕВА Е. Л., канд. техн. наук,
заведующий кафедрой «Машиноведение»¹
E-mail: el.iovleva@s-vfu.ru, elizaveta-iovleva@yandex.ru

СОСИН М. А., магистрант¹
E-mail: msosin87@mail.ru

¹ФГАОУ ВО Северо-Восточный Федеральный университет им. М. К. Аммосова,
Якутск, Россия

²Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского
отделения Российской академии наук» (ЯНЦ СО РАН), Якутск, Россия

³ОАО «НИИАТ», Москва, Россия

Поступила в редакцию 04.09.2023

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ ДЛЯ БОРЬБЫ С АЛКОГОЛЬНЫМ ОПЬЯНЕНИЕМ НА ДОРОГАХ

В статье рассматриваются технические инновации, направленные на борьбу с вождением в состоянии алкогольного опьянения. Основное внимание уделяется алкометрам с замком зажигания (IID), которые уже успешно используются в некоторых странах, и системам распознавания признаков алкогольного опьянения, которые находятся в стадии разработки. Обсуждаются также юридические и этические вопросы, связанные с использованием этих технологий, включая вопросы ответственности, защиты данных и приватности водителей. Несмотря на потенциальную эффективность этих технологий, их внедрение сталкивается с рядом проблем, которые требуют дальнейшего обсуждения и решения. В статье также рассматривается ситуация в Республике Саха (Якутия), где в настоящее время нет планов по внедрению систем, предотвращающих вождение в состоянии алкогольного опьянения.

Ключевые слова: *алкогольное опьянение, вождение, технические инновации, алкометры с замком зажигания, системы распознавания признаков алкогольного опьянения, юридические вопросы, этические вопросы, защита данных, приватность водителей, Республика Саха (Якутия).*

Введение

Ввод в эксплуатацию транспортных средств, водителем которых является человек, находящийся в состоянии алкогольного опьянения, остается глобальной проблемой, угрожающей безопасности дорожного движения [1]. Во многих странах этот вопрос регулируется законодательно, однако, не-

смотря на ужесточение наказаний, инциденты, связанные с вождением в состоянии опьянения, продолжают случаться. Основная цель этой статьи – исследовать и оценить различные технические средства, которые могут быть использованы для обеспечения безопасности дорожного движения при алкогольном опьянении. В первую очередь мы

обратим внимание на алкометры с замком зажигания (IID), которые уже успешно используются в некоторых странах [2]. Далее рассмотрим технологии, которые находятся в стадии разработки или только начинают внедряться в производство, включая системы, способные распознавать признаки алкогольного опьянения через встроенные в автомобиль камеры и датчики [3].

Кроме того, наш обзор будет включать обсуждение юридических и этических вопросов, связанных с использованием подобных технологий. Поскольку целью нашего исследования является улучшение безопасности на дорогах и минимизация трагедий, связанных с вождением в состоянии алкогольного опьянения, мы стремимся представить полное и объективное представление о текущем состоянии дел в этой области.

Основная часть

Алкогольное опьянение является одним из основных факторов, увеличивающих риск ДТП. Во многих странах мира уголовное наказание установлено для водителей, управляющих транспортным средством в состоянии опьянения, но, к сожалению, такие меры не всегда оказываются эффективными. Поэтому актуальность применения технических средств для контроля за водителями, находящимися под влиянием алкоголя, растет.

По данным Госавтоинспекции РФ, за 2020 год было зарегистрировано около 18 тысяч ДТП из-за водителей, находившихся в состоянии алкогольного опьянения. Это составило около 7 % от общего числа ДТП за год. При этом, около 2000 человек погибли и более 27 тысяч получили ранения различной степени тяжести в результате таких аварий (таблица 1).

Таблица 1 – Количество ДТП с алкогольным опьянением [4]

Год	ДТП связанных с алкоголем	Погибшие	Раненые
2019	19,050	2,100	29,500
2020	18,400	2,050	28,200
2021	18,300	2,020	27,650
2022	18,000	2,000	27,000

Однако, чтобы применять такие средства на практике, необходимо решить ряд юридических и этических вопросов, связанных с их использованием. Кроме того, потребуется усилия со стороны правительства и общественных организаций для обеспечения широкого принятия и применения таких технологий.

Эта таблица демонстрирует непрерывное влияние алкоголя на дорожное движение в России. Несмотря на незначительное снижение общего числа ДТП, связанных с алкоголем, количество смертей и ранений по-прежнему остается высоким, что подчеркивает важность внедрения инновационных технологий и стратегий для борьбы с этой проблемой.

Проводя анализ этих данных, можно заключить, что алкоголь значительно увеличивает риск ДТП и приводит к значительным потерям, включая человеческие жизни. Это подчеркивает необходимость развития и внедрения технологий, способных предотвратить вождение в состоянии опьянения, как, например, устройства замка зажигания, которые активируются при обнаружении уровня алкоголя в крови водителя выше допустимого.

Первыми на линии защиты от вождения в состоянии опьянения стоят алкометры с замком зажигания (IID). Это устройства, которые требуют от водителя прохождения теста на алкоголь перед тем, как он сможет запустить машину. Если обнаруживается уровень алкоголя выше установленного предела, машина не запусится [5].

IIDs обычно используются в качестве средства контроля над водителями, ранее осужденными за вождение в пьяном виде, однако некоторые исследования показывают, что они могут быть эффективны и в более широком контексте. Например, в 2014 году проводилось исследование в штате Вашингтон, где было выявлено, что установка IID снизила риск повторного вождения в пьяном виде на 70 %.

В то же время, IIDs имеют и свои ограничения. Водители могут обойти систему, попросив другого человека, не находящегося под влиянием алкоголя, вдохнуть в прибор. Более того, устройства требуют регулярного технического обслуживания и калибровки, что может представлять сложности [6].



Рисунок 1 – Алкометры с замком зажигания

Сегодня разрабатываются и другие технологии, которые могут быть еще более эффективными в предотвращении вождения в состоянии опьянения. Одна из таких технологий – это системы распознавания признаков алкогольного опьянения, которые могут анализировать физическое состояние водителя на основе изображений, получаемых с встроенных в автомобиль камер. Это могут быть признаки утомления, измененной координации движений или поведения водителя, которые могут указывать на возможное влияние алкоголя. Такие системы еще находятся в стадии разработки, и им требуется проведение дополнительных исследований и испытаний. Однако их потенциал весьма велик: они могут автоматически оценивать состояние водителя и принимать меры для предотвращения вождения, если обнаруживаются признаки алкогольного опьянения [7; 8].

Более того, системы активной безопасности и автономного вождения могут также включать функции, которые контролируют физическое состояние водителя. Например, некоторые автомобили могут включать функции, которые обнаруживают, если водитель становится сонным или отвлекается, и могут автоматически замедлять машину или включать аварийные сигналы.

Также исследуются системы, которые могут анализировать дыхание водителя или даже его кожу на предмет следов алкоголя. Одна из таких технологий, которая сейчас разрабатывается, использует инфракрасный свет для определения уровня алкоголя в крови через кожу [9].

Интересны разработки компании «Нейроком», и их система комплексного мониторинга состояния водителя, основные назначения системы:

– мониторинг и дифференцирование состояния водителя: релаксация, активное бодрствование, стресс – с вероятностью опасной ошиб-

ки метода не более 10^{-3} и потоком вероятности опасных отказов, приводящих к ДТП, (ошибка 2-го рода) не более 10^{-8} в час;

– мониторинг пульса и выявление опасных аритмий (признаки приближения внезапной смерти) – с потоком вероятности отказов метода не более 0,01 в час;

– определение индекса напряжения по Бавскому (усталость) с достоверностью 0,98;

– распознавание неадекватного действия водителя с вероятностью 0,95 и временем задержки не более 1,5 с;

– начальный поиск и определение положения глаз водителя по двум видеокамерам;

– слежение за положением глаз водителя;

– определение направления взгляда водителя;

– передачу видеоинформации в реальном масштабе времени.

Стабильность показателей качества СКМСВ обеспечивается строгой технологической дисциплиной и высокой культурой производства [19].

Система ADES помогает быстро и без дополнительного ПО и приборов, с помощью тестирования и мини-игр, определить физиологические характеристики водителя. Разработана методика повышения безопасности дорожного движения на основе оценки поведенческих характеристик водителя с помощью разработанной системы.

ADES. Внедрение методики позволяет оценить влияние поведенческого портрета водителя на его поведение на дороге. С помощью имитационного моделирования получилось проследить не только возникновение ДТП, но и возникновение предаварийных ситуаций. Проведя цикл испытаний имитационной модели с рискованной моделью поведения водителей и с менее рискованной моделью поведения и сравнив результаты, была получена оценка степени влияния человеческого фактора на ве-

роятность возникновения ДТП с их участием. Если экстраполировать полученные результаты, система ADES может быть использована для повышения точности оценки рисков [18].

Внедрение подобных технологий в автомобили ставит перед нами ряд юридических и этических вопросов. Кто будет нести ответственность, если технология ошибется или откажет? Как следует обрабатывать и хранить получаемые с помощью этих систем данные о водителях? Это приводит к вопросам о приватности и защите данных.

В то время как ответственность за применение и работу этих систем во многом ложится на производителей автомобилей, регуляторы также играют важную роль в формировании рамок, в которых эти технологии могут быть использованы. В этом контексте следует отметить, что законодательство и нормативная база различаются в разных странах, и требуется координация на международном уровне, чтобы создать общие стандарты и нормы [9; 10].

Некоторые страны уже принимают активные меры по внедрению технологий контроля

алкоголя в автомобилях. Например, в Норвегии проходит проект по установке алкометров с замком зажигания в все новые автомобили к 2029 году [13; 14].

Однако эти шаги ставят перед нами вопросы о балансе между безопасностью на дорогах и личной свободой водителей. Эти вопросы требуют обсуждения и должны быть учтены при принятии решений о внедрении этих технологий.

Таблица 2 демонстрирует, что, хотя некоторые технологии, такие как алкометры с замком зажигания (IID) и приложения против вождения в состоянии опьянения, начали внедряться, они все еще не распространены на большинстве автомобилей. Наиболее часто используемые средства включают программы просвещения и предупреждения об алкоголе. Более современные и сложные технологии, такие как системы распознавания признаков алкогольного опьянения, находятся на раннем этапе внедрения и еще не стали широко распространенными.

Таблица 2 – Уровень внедрения систем обеспечения безопасности дорожного движения при алкогольном опьянении [10]

Технология	Уровень внедрения (на 1000 автомобилей)
Алкометры с замком зажигания (IID)	5
Системы распознавания признаков алкогольного опьянения	1
Приложения против вождения в состоянии опьянения	7
Программы просвещения и предупреждения об алкоголе	10

Распространенность таких систем крайне низкая, не исключением является и Республика Саха (Якутия), по данным госавтоинспекции, в планах даже нет внедрения подобных технических средств. В Госавтоинспекции и Минтрансе Якутии сосредоточены на установки комплексов фотовидеофиксации нарушений ПДД на наиболее аварийных участках федеральных, региональных и городских дорог. Планируется запуск автоматического пункта весового контроля на 66- километре автодороги «Умнас» в Хангаласском районе. Также планируется создание единой республиканской диспетчерской службы по контролю за передвижением транспортных средств, перевозящих пассажиров, опасные или крупногабаритные грузы, мониторингу за состоянием автомобильных дорог регионального значения и т. д. [16].

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 со-

бой 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) [11].

В таблице 3 представлен уровень ДТП в сравнении по причине ДТП водителя в состоянии опьянения.

Вот некоторые выводы, которые можно сделать на основе этих данных:

Общее количество ДТП снизилось: В 2022 году общее количество ДТП снизилось по сравнению с 2021 годом (с 369 до 346). Это может указывать на улучшение общей безопасности на дорогах.

Количество ДТП, связанных с алкогольным опьянением, также снизилось (с 34 в 2021 году до 26 в 2022 году). Это может указывать на эффективность мер, направленных на борьбу с вождением в состоянии алкогольного опьянения.

Таблица 3 – Динамика ДТП всего и ДТП по причине водителя в состоянии опьянения (АО- алкогольное опьянение).

Показатель	2021		2022	
	Всего	АО	Всего	АО
ДТП	369	34	346	26
Погибло	14	2	15	3
Ранено	453	55	424	43

Число погибших увеличилось: Несмотря на общее снижение числа ДТП, количество погибших в результате ДТП увеличилось (с 14 в 2021 году до 15 в 2022 году). Это может указывать на то, что, несмотря на общее улучшение безопасности, серьезность происшествий увеличилась.

Число раненых снизилось: Общее число раненых в результате ДТП снизилось (с 453 в 2021 году до 424 в 2022 году), что также может указывать на улучшение общей безопасности на дорогах.

Из представленной информации следует, что в Республике Саха (Якутия) в настоящее время нет планов по внедрению систем, которые бы предотвращали вождение в состоянии алкогольного опьянения, таких как алкогольные интерлоки. Вместо этого власти сосредоточены на установке комплексов фотовидеофиксации нарушений ПДД на наиболее аварийных участках дорог и запуске автоматического пункта весового контроля [17].

В долгосрочной перспективе, если эти меры окажутся эффективными, они могут стать основой для дальнейшего развития инфраструктуры безопасности дорожного движения в регионе. Однако, учитывая продолжающуюся проблему вождения в состоянии алкогольного опьянения, вполне возможно, что в будущем власти могут рассмотреть возможность внедрения технологий, направленных специально на борьбу с этой проблемой.

В целом, хотя внедрение систем, предотвращающих вождение в состоянии алкогольного опьянения, может быть отложено, власти Якутии активно работают над улучшением безопасности дорожного движения с помощью других технологий и стратегий, так же задача создания зимнего сорта дизельного топлива, обеспечивающего работу техники в экстремальных условиях Крайнего Севера (до -60°C) [12].

Безопасность на дорогах является важным вопросом, требующим активного вмешательства. Технические средства контроля состояния водителей, в том числе алкогольного опьянения, представляют собой обещающий путь для снижения числа аварий и сохранения жизней.

Однако внедрение этих технологий требует обсуждения и решения ряда юридических,

этических и практических вопросов. Ответственность за работу этих систем, защита данных и приватности водителей, а также обеспечение надежности и эффективности технологий – это важные аспекты, которые необходимо учесть.

Основная цель – это обеспечение безопасности на дорогах, и технологии могут играть ключевую роль в достижении этой цели. Однако важно учитывать, что технологии являются лишь одним из инструментов, и они должны работать совместно с законодательством, образованием и повышением осведомленности водителей о последствиях вождения в состоянии алкогольного опьянения.

Заключение

Вождение в состоянии алкогольного опьянения остается серьезной проблемой, угрожающей безопасности дорожного движения во всем мире, включая Россию и Республику Саха (Якутия). Это подтверждается статистическими данными, которые показывают высокую долю ДТП, связанных с алкоголем.

Технические инновации, такие как алкометры с замком зажигания (IID), системы распознавания признаков алкогольного опьянения и другие подобные технологии, представляют собой важные инструменты для борьбы с этой проблемой. Они могут значительно снизить риск ДТП, связанных с алкоголем, и спасти множество жизней.

Однако внедрение этих технологий сталкивается с рядом проблем, включая юридические и этические вопросы, связанные с ответственностью за работу этих систем, защитой данных и приватности водителей, а также обеспечением их надежности и эффективности.

В Республике Саха (Якутия) в настоящее время нет планов по внедрению систем, которые бы предотвращали вождение в состоянии алкогольного опьянения. Вместо этого власти сосредоточены на установке комплексов фотовидеофиксации нарушений ПДД на наиболее аварийных участках дорог и запуске автоматического пункта весового контроля.

Несмотря на это, в долгосрочной перспективе эти меры могут стать основой для дальнейшего развития инфраструктуры безопасности дорожного движения в регионе. Возможно, в будущем власти могут рассмотреть возмож-

ность внедрения технологий, направленных специально на борьбу с вождением в состоянии алкогольного опьянения.

Важно учитывать, что технологии являются лишь одним из инструментов для улучшения безопасности на дорогах. Они должны работать совместно с законодательством, образованием и повышением осведомленности водителей о последствиях вождения в состоянии алкогольного опьянения.

Литература

1. Beck, K. H. Descriptive analysis of the social context of drinking among first-time DUI offenders / K. H. Beck, A. Ahmed, Z. A. Farkas, // *Traffic Injury Prevention*. – 2021. – Vol. 22. – P. 61–66.

2. Beirness, D. J. Alcohol ignition interlock programs / D. J. Beirness, P. R. Marques // *Traffic Injury Prevention*. – 2020. – Vol. 21. – P. 143–149.

3. Bjerre, B., Is an alcohol ignition interlock programme a useful tool for changing the alcohol and driving habits of drink-drivers? / B. Bjerre, U. Thorsson // *Accident Analysis & Prevention*. – 2018. – Vol. 51. – P. 267–273.

4. Данные о состоянии показателей аварийности в РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru/>. – Дата доступа: 20.06.2023.

5. Ferguson, S. A. Alcohol-impaired driving in the United States: contributors to the problem and effective countermeasures / S. A. Ferguson // *Traffic Injury Prevention*. – 2018. – Vol. 19. – P. 389–91.

6. Griffin III, R. Prevalence of non-drinking drivers involved in alcohol-related fatal crashes in the United States / R. Griffin III, C. Huisingsh, G. McGwin // *Accident Analysis & Prevention*. – 2020. – Vol. 138. – P. 105438.

7. Hedlund, J. Graduated driver licensing research in 2004 and 2005 / J. Hedlund, R. Compton, // *Journal of Safety Research*. – 2018. – Vol. 49. – P. 109–119.

8. Marques, P. R., Voas, R. B., Hodgins, D. Vehicle interlock programs: protecting the community against the drunk driver / P. R. Marques, R. B. Voas, D., Hodgins // *Journal of Prevention & Intervention in the Community*. – 2019. – Vol. 47. – P. 31–44.

9. Washington State's alcohol ignition interlock law: Effects on recidivism among first-time DUI offenders / A. T. McCartt, W. A. Leaf, C. M. Farmer, A. H. Eichelberger // *Traffic Injury Prevention*. – 2021. – Vol. 22. – P. 26–31.

10. Отчет Министерство транспорта Российской Федерации за 2022 год [Электронный

В заключение, мы должны стремиться к созданию более безопасных дорог для всех, и применение технологий может быть значительным шагом в этом направлении. Однако, важно учесть все аспекты этого вопроса, включая юридические, этические и практические вопросы, чтобы обеспечить эффективное и справедливое использование этих технологий.

ресурс]. – Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/>. – Дата доступа: 20.06.2023)

11. Внедрение умного светофора как фактора безопасности движения на улицах г. Якутска / Е. Л. Иовлева, Н. А. Филиппова, П. В. Куренков, С. П. Вакуленко // *Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : Сборник научных статей / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет. Том Выпуск 4. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2022. – С. 27–36.*

12. Перспективы улучшения низкотемпературных характеристик фракций дизельного топлива / Е. Л. Иовлева, С. С. Захарова, М. П. Лебедев, Л. И. Попова // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. – 2013. – Т. 2, № 2(71). – С. 116–120.

13. Морозов, Д. С., Антонов, П. А. Юридические и этические аспекты применения технологий контроля алкогольного опьянения / Д. С. Морозов, П. А. Антонов // *Право и безопасность*. – 2019. – № 3. – С. 20–24.

14. Никифоров, А. Е. Системы контроля состояния водителя в автомобилях: перспективы и проблемы / А. Е. Никифоров, И. Ю. Федоров // *Инновации в транспорте*. – 2019. – № 2. – С. 45–49.

15. Петров, К. И. Использование современных технологий для предотвращения вождения в состоянии алкогольного опьянения / К. И. Петров, В. Д. Белов // *Научные ведомости*. – 2018. – № 11. – С. 34–39.

16. Филиппова, Н. А. Анализ проблем организации дорожного движения и пути их решения на примере УДС г. Якутска / Н. А. Филиппова, Н. В. Кирикова // *Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте : сборник статей международной научно-практической конференции, Липецк, 20–21 апреля 2022 года /*. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 57–64.

17. Филиппова Н. А. Уровень цифровизации российского транспорта / Н. А. Филиппо-

ва, М. И. Малышев // Информационные технологии и инновации на транспорте : Материалы VI Международной научно-практической конференции, Орел, 20 мая 2020 года / Под общ. ред. А. Н. Новикова. – Орел: Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, 2020. – С. 62–68.

18. Доткулова А. С. Повышение безопасности дорожного движения на основе оценки поведения водителя / А. С. Доткулова: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.10 – М., 2022. – 154 с.

19. Официальный сайт компании АО «НЕЙРОКОМ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.neurocom.ru/>. – Дата доступа: 26.06.2023)

UDK 34

FILIPOVA NADEZHDA A., Doctor of Technical Sciences, Professor of the «Automobile Roads and Airfields» Department^{1,3}
Email: umen@bk.ru

LEBEDEV MIKHAIL P., Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, General Director²
E-mail: m.p.lebedev@prez.ysn.ru

IOVLEVA ELIZAVETA L., Ph. D. in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering
E-mail: el.iovleva@s-vfu.ru, elizaveta-iovleva@yandex.ru

SOSIN MIKHAIL A., Master Student¹
E-mail: msosin87@mail.ru

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

²Federal Research Center «Yakutsk Scientific Center Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Yakutsk, Russia

³JSC "NIIAT", Moscow, Russia

Received 04 September 2023

TECHNICAL INNOVATIONS FOR COMBATING ALCOHOL INTOXICATION ON THE ROADS

The article discusses technical innovations aimed at combating driving under the influence of alcohol. The main focus is on ignition lock (IID) breathalyzers, which are already successfully used in some countries, and systems for recognizing signs of alcohol intoxication, which are under development. Legal and ethical issues related to the use of these technologies are also discussed, including issues of liability, data protection and privacy of drivers. Despite the potential effectiveness of these technologies, their implementation faces a number of problems that require further discussion and solution. The article also examines the situation in the Republic of Sakha (Yakutia), where there are currently no plans to introduce systems that prevent driving under the influence of alcohol.

Keywords: alcohol intoxication, driving, technical innovations, alcohol meters with ignition switch, systems for recognizing signs of alcohol intoxication, legal issues, ethical issues, data protection, privacy of drivers, Republic of Sakha (Yakutia).

References

1. Beck, K. H. Descriptive analysis of the social context of drinking among first-time DUI offenders / K. H. Beck, A. Ahmed, Z. A. Farkas, // *Traffic Injury Prevention*. – 2021. – Vol. 22. – P. 61–66.
2. Beirness, D. J. Alcohol ignition interlock programs / D. J. Beirness, P. R. Marques // *Traffic Injury Prevention*. – 2020. – Vol. 21. – P. 143–149.
3. Bjerre, B., Is an alcohol ignition interlock programme a useful tool for changing the alcohol and driving habits of drink-drivers? / B. Bjerre, U. Thorsson // *Accident Analysis & Prevention*. – 2018. – Vol. 51. – P. 267–273.
4. Data on the state of accident rates in the Russian Federation [Electronic resource]. – Access mode: <http://stat.gibdd.ru/>. – Access date: 20.06.2023.
5. Ferguson, S. A. Alcohol-impaired driving in the United States: contributors to the problem and effective countermeasures / S. A. Ferguson // *Traffic Injury Prevention*. – 2018. – Vol. 19. – P. 389–91.
6. Griffin III, R. Prevalence of non-drinking drivers involved in alcohol-related fatal crashes in the United States / R. Griffin III, C. Huisinigh, G. McGwin // *Accident Analysis & Prevention*. – 2020. – Vol. 138. – P. 105438.
7. Hedlund, J. Graduated driver licensing research in 2004 and 2005 / J. Hedlund, R. Compton, // *Journal of Safety Research*. – 2018. – Vol. 49. – P. 109–119.
8. Marques, P. R., Voas, R. B., Hodgins, D. Vehicle interlock programs: protecting the community against the drunk driver / P. R. Marques, R. B. Voas, D., Hodgins // *Journal of Prevention & Intervention in the Community*. – 2019. – Vol. 47. – P. 31–44.
9. Washington State's alcohol ignition interlock law: Effects on recidivism among first-time DUI offenders / A. T. McCartt, W. A. Leaf, C. M. Farmer, A. H. Eichelberger // *Traffic Injury Prevention*. – 2021. – Vol. 22. – P. 26–31.
10. Report of the Ministry of Transport of the Russian Federation for 2022 [Electronic resource]. – Access mode: <https://mintrans.gov.ru/>. – Access date: 20.06.2023)
11. Introduction of a smart traffic light as a traffic safety factor on the streets of Yakutsk / E. L. Iovleva, N. A. Filippova, P. V. Kurenkov, S. P. Vakulenko // *Transport and transport systems: design, operation, technologies: Collection of scientific articles / Ministry of Education of the Republic of Belarus, Belarusian National Technical University. Volume Issue 4*. – Minsk: Belarusian National Technical University, 2022. – P. 27–36.
12. Prospects for improving the low-temperature characteristics of diesel fuel fractions / E. L. Iovleva, S. S. Zakharova, M. P. Lebedev, L. I. Popova // *Bulletin of the Saratov State Technical University*. – 2013. – V. 2, No. 2 (71). – S. 116–120.
13. Morozov, D. S. Legal and ethical aspects of alcohol control technologies / D. S. Morozov, P. A. Antonov // *Law and Safety*. – 2019. – No. 3. – P. 20–24.
14. Nikiforov, A. E. Driver condition monitoring systems in cars: prospects and problems / A. E. Nikiforov, I. Y. Fedorov // *Innovations in Transport*. – 2019. – No. 2. – P. 45–49.
15. Petrov, K. I., Belov, V. D. Use of modern technologies to prevent drunk driving / K. I. Petrov, V. D. Belov // *Scientific Bulletin*. – 2018. – No. 11. – P. 34–39.
16. Filippova, N. A. Analysis of traffic organization problems and ways to solve them on the example of UDS of Yakutsk / N. A. Filippova, N. V. Kirikova // *Infocommunication and intelligent technologies in transport: collection of articles of the international scientific-practical conference, Lipetsk, April 20–21, 2022 /*. – Lipetsk: Lipetsk State Technical University, 2022. – P. 57–64.
17. Filippova N. A. Level of digitalization of Russian transport / N. A. Filippova M. I. Malyshyov, // *Information technologies and innovations in transport: Materials of the VI International Scientific and Practical Conference, Orel, May 20, 2020 / Edited by A. N. Novikov*. – Orel: Orel State University named after I. S. Turgenev, 2020. – P. 62–68.
18. Dotkulova A. S. Improving road safety based on driver behavior assessment / A. S. Dotkulova: dis. ... cand. those. Sciences: 05.22.10. – M. :, 2022. – 154 p.
19. Official website of the company JSC «NEYROCOM» [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.neurocom.ru/>. – Access date: 06/26/2023.

КАПСКИЙ Д. В., д-р техн наук, доцент,
заместитель Председателя ВАК¹
E-mail: d.kapsky@gmail.com

ВОЛЫНЕЦ А. С.,
аспирант²

¹Высшая аттестационная комиссия Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 21.07.2023

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ АВАРИЙНОСТИ НА КОНФЛИКТНЫХ ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Аварийность является одной из самых существенных потерь в дорожном движении, поскольку затрагивает каждого из участников движения. Поэтому для снижения ее уровня требуется разработка современного метода прогнозирования аварийности, который бы позволял точно оценивать количество аварий и тяжесть последствий не только по результатам экспериментальных данных и обследования, но и путем моделирования еще на стадии принятия решений. Таким методом является метод конфликтных ситуаций, однако на сегодняшний день он характеризуется низкой точностью прогноза, не применимой для практического использования, а также тяжестью получения (сбора и анализа) исходных данных и отсутствием автоматизации процесса принятия решения по выбору оптимального мероприятия методом конфликтных ситуаций. В статье выполнен анализ существующих методов прогнозирования аварийности, оценка их применимости на разных стадиях принятия решений, а также определены дальнейшие перспективы и направления совершенствования метода конфликтных ситуаций с целью его применимости в практике организации дорожного движения для целей оптимизации ее вариантов и режимов регулирования.

Ключевые слова: дорожно-транспортные аварии, аварийность, прогнозирование, оценка, потенциальная опасность, коэффициенты аварийности, коэффициенты безопасности, конфликтная точка, конфликтный участок, конфликтная зона, конфликтная ситуация.

Введение

Процесс бурной автомобилизации привел к увеличению объема движения в городах, что вызывает увеличение плотности движения особенно на конфликтных объектах транспортной сети, повышению выбросов вредных веществ и уровня шумового воздействия, а также дорожно-транспортной аварийности [1–2]. Как известно, в развитых странах ущерб от дорожно-транспортной аварийности достигает 2–3 % ВВП [3–4]. Причем более 75 % дорожно-транспортных аварий сконцентрировано в городских очагах аварийности, которыми являются конфликтные объекты транспортной сети – регулируемые и нерегулируемые перекрестки и пешеходные переходы. Поэтому в нашей стране и за рубежом проводятся разработки научно обоснованных планировочных и

инженерно-технических решений, направленных на снижение аварийности в городских условиях [5–6]. Это возможно только созданием современного адекватного метода прогнозирования и оценки дорожно-транспортной аварийности, который бы давал объективный прогноз уровня аварий и тяжести их последствий при различных вариантах организации дорожного движения, в том числе планировочных и управленческих решений, применении различных режимов светофорного регулирования и пр. [7–8].

Основная часть

С момента начала движения участие в огромном количестве дорожно-транспортных ситуаций (перестроение, начало движения, смена полосы, опережение и т. п.)

характеризуется незначительным риском – такие ситуации называют «неопасными или нормальными» [5]. Значительно ниже вероятность «потенциально опасных» дорожно-транспортных ситуаций, при которых совершается значительное количество маневров (рисунок 1). Эти маневры также выполняются с автоматизмом и очень уверенно, а уклончивые действия для избежания конфликтов (столкновений или наездов) осуществляются в «служебном» режиме (имеется определенный запас для ускорения/замедления маневра), но не все они заканчиваются благополучно. Ино-

гда время для «служебных» уклончивых действий бывает упущено и участникам приходится применять «экстренные» уклончивые действия (когда до момента столкновения или иной коллизии остается менее 1 с и усилить маневр уже невозможно). Такие ситуации называются *конфликтными* [7–8]. Они (условно) делятся на легкие («очень опасно»), средние («чудом пронесло») и тяжелые («чудом уцелел» или «почти авария» – имеет или почти имеет место контакт, но он не привел к каким-либо существенным повреждениям).

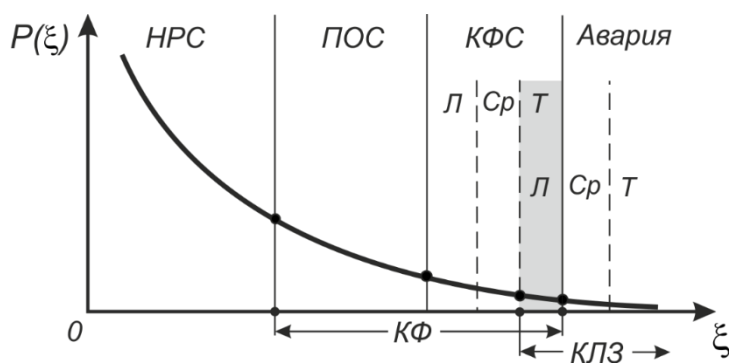


Рисунок 1 – классификация дорожно-транспортных ситуаций [3]:

ξ – опасность конфликтов или тяжесть последствий коллизий; $P(\xi)$ – вероятность вида конфликта; НРС – нормальная ситуация; ПОС – потенциально опасная ситуация; КФС – конфликтная ситуация; Л – легкая; Ср – средняя; Т – тяжелая; КФ – конфликт; КЛЗ – коллизия

Таким образом, методы прогнозирования и оценки аварийности, в зависимости от реализации и степени опасности дорожно-транспортной ситуации, можно разделить на следующие: статистический, экспертный, конфликтных ситуаций и потенциальной опасности (группа методов) [4]. Статистический метод дает прогноз на основе ретроспективных данных о статистике дорожно-транспортной аварийности; экспертный метод – на основе интуиции и познаний эксперта по всему спек-

тру дорожно-транспортных ситуаций; метод конфликтных ситуаций – на основе натурного исследования либо моделирования конфликтного взаимодействия участников дорожного движения (дорожно-транспортных ситуаций, перерастающих в конфликтные); методы потенциальной опасности – на основе исследования опосредованными методами потенциально опасных дорожно-транспортных ситуаций (рисунок 2).

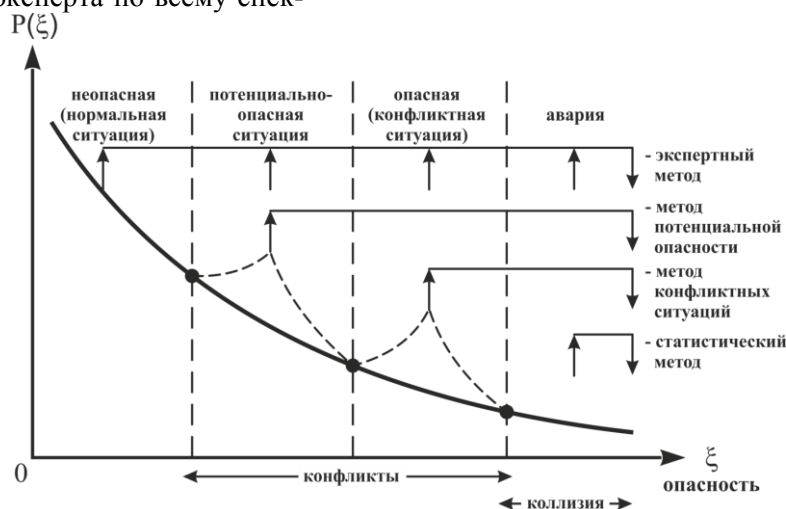


Рисунок 2 – Дорожно-транспортные ситуации, используемые для прогнозирования аварийности различными методами [4;5]

Рассмотрим методы прогнозирования дорожно-транспортной аварийности.

Статистический метод исследования аварийности оперирует данными о наличии/отсутствии (росте/снижении) количества аварий и тяжести их последствий до и после внедрения типовых мероприятий по повышению безопасности дорожного движения. Таким образом имеется получается информация о внедрении конкретного мероприятия, по которому можно оценить вероятное изменение аварийности на объекте внедрения. Прогнозируемое число аварий на исследуемом участке n_{a2} после внедрения одного мероприятия определяется по формуле [5]:

$$n_{a2} = n_{a1} \cdot (1 - \Delta A) \cdot \eta_Q \cdot \eta_t, \text{ ав./год}, \quad (1)$$

где n_{a1} – среднегодовое число аварий до внедрения, ав./год;

ΔA – снижение/увеличение числа аварий в долях единицы (по таблице 1). При этом изменение числа касается только тех аварий, которые непосредственно зависят от конкретного внедренного мероприятия;

η_Q – поправочный коэффициент, учитывающий возможное изменение интенсивности движения до (Q_1) и после (Q_2) внедрения мероприятия:

$$\eta_Q = \frac{Q_2}{Q_1}; \quad (2)$$

η_t – поправочный коэффициент, учитывающий время исследования аварийности на участке до (t_1) и после (t_2) внедрения мероприятия:

$$\eta_t = \frac{t_2}{t_1}. \quad (3)$$

Если на каком-либо участке внедрены два или более мероприятия, то коэффициент ΔA рассчитывают по формуле

$$\Delta A = 1 - (1 - \Delta A_1) \cdot (1 - \Delta A_2) \cdot \dots \cdot (1 - \Delta A_i), \quad (4)$$

где $\Delta A_{1, 2, \dots, i}$ – коэффициенты снижения аварийности для каждого мероприятия.

Основными недостатками статистического метода являются: его низкая точность, невозможность исключения взаимовлияния конкретного мероприятия на все аварии, происходящие на объекте, невозможность объективной корректировки по времени исследований, учету влияния нескольких мероприятий и объема конфликтного движения. Его применимость ограничена «прикидочной» оценкой разрабатываемых мероприятий на стадии предварительного анализа эффективности решений.

Таблица 1 – Статистическое прогнозирование аварийности [4; 5 и др.]

Мероприятие	Город (Г), загород (З)	Число полос	Снижение числа аварий		
			Все виды	С пострадав-	С матер.
Линейные участки					
Запрещение стоянок	Г	> 2	0,32	0,03	–
Выделение разделительной полосы	Г	> 2	0,12	–	–
Установка пешеходных ограждений (100–1800 м)	Г, З	≥ 2	0,87	0,68	0,98
Нанесение горизонтальной разметки	Г, З	≥ 2	0,17	0,44	0,54
Перекрестки					
Замена стандартного перекрестка кольцевым	Г	≥ 2	0,51	0,76	0,93
Установка транспортного светофора	Г	2	0,87	0,96	0,99
Установка светофоров с желтым мигающим сигналом	Г, З	≥ 2	0,77	0,85	0,70
Запрещение поворотов	Г	> 2	0,40	0,39	–
Организация полосы для левых поворотов	Г	> 2	0,27	0,01	0,07
Дополнительная секция левого поворота	Г	> 2	0,46	0,76	–

Экспертный метод основан на использовании специалистом собственного накопленного опыта в области безопасности дорожного движения [4; 5]. Основан на сопоставлении ранее известных эксперту вариантов с предлагаемыми ко внедрению решениями и экспертным анализе вероятных сценариев при реализации комплекса или отдельных мероприятий по повышению безопасности движения. Прогноз дается, как правило, качественным обра-

зом. Также основной недостаток экспертного метода, как и предыдущего, является обычно низкая точность прогноза, даже при наличии нескольких экспертов («групповое заблуждение»), а также нехватка высококвалифицированных специалистов, что делает пригодным данный метод только для грубой, прикидочной оценки мероприятий, как направления дальнейших, более детальных исследований.

Группа методов оценки и прогнозирования аварийности по потенциальной опасности

Эти методы не требуют наличия реального объекта – могут использовать данные, полученные экспериментальным путем, либо путем моделирования при проектировании транспортной системы, что позволяет корректировать по критерию безопасности мероприятия по организации и регулированию движения на существующем перекрестке, либо оптимизировать принимаемые решения организационного и планировочного характера на стадии их разработки (проектирования).

Известны пять типовых методов прогнозирования аварийности по потенциальной опасности: «Линейных графиков коэффициентов аварийности» и «Линейных графиков коэффициентов безопасности» (автор – профессор В. Ф. Бабков, МАДИ) – применяются

на линейных объектах; «Конфликтных точек», «Конфликтных участков» и «Конфликтных зон» – используются для прогнозирования аварийности на конфликтных объектах [6].

Метод линейных графиков коэффициентов аварийности [6] позволяет достаточно просто выявлять на реальных дорогах и в проектах дорог опасные участки, нуждающиеся в улучшении.

Дорогу разбивают на элементарные участки, для каждого из которых определяют частные коэффициенты аварийности K_1-K_{17} (таблица 2). Путем перемножения частных коэффициентов получают итоговый коэффициент аварийности $K_{итог}$, по значению которому производится качественная оценка опасности исследуемого участка.

Таблица 2 – Значения частных коэффициентов аварийности [3–6]

Интенсивность движения (10^3 , авт./сут)	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11	13	15	20
K_1	0,4	0,5	0,6	0,75	1,0	1,3	1,7	1,8	1,5	1,0	0,6
(для дорог с разделительной полосой ИД – в одном направлении)											
Ширина проезжей части, м	4,5	5,5	6,0	7,5	9,0	10,5					
K_2 при укрепленной обочине	2,2	1,5	1,35	1,0	0,8	0,7					
K_2 при неукрепленной обочине	4,0	2,75	2,5	1,5	1,0	0,9					
Ширина обочины, м	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0					
K_3	2,2	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0					
Продольный уклон, %	2,0	3,0	5,0	7,0	8,0						
K_{11}		1,0	1,1	1,65	2,5	10,0					
Число полос на ПЧ	2	3	3	4	4	4					
	Без разметки		С разметкой	Без разделительной полосы		С разделительной полосой					
K_{12}	1,0	1,5	0,9	0,8		0,65					
Расстояние от застройки до ПЧ, м	15–20		5–10		< 5	< 5					
	Имеются полосы местного движения		Имеются тротуары		С тротуарами	Без тротуаров					
K_{15}							2,0	1,5	1,2		
Характеристика покрытия	скользкое грязное		скользкое		чистое сухое		шероховатое		очень шероховатое		
Коэффициент сцепления	0,2–0,3		0,4		0,6		0,7		0,75		
K_{16}	2,5		2,0		1,3		1,0		0,75		
Ширина разделительной полосы, м						1	2	3	5	10	15
K_{17}						2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,4

Линейный график коэффициентов аварийности представляет собой результат визуализации опасных участков дороги – нанесения итоговых коэффициентов аварийности с указанием мест свершения дорожно-транспортных аварий (точки – на существующих объектах) (рисунок 3). Метод имеет модификации. Например, разработана система частных

коэффициентов для магистралей, система по учету ровности дорожных покрытий, предложена подобная зависимость для участков дорог на подходах к мостам, имеются уточняющие коэффициенты по тяжести последствий, времени совершения аварий, категории дороги, погодных особенностей и т. д.

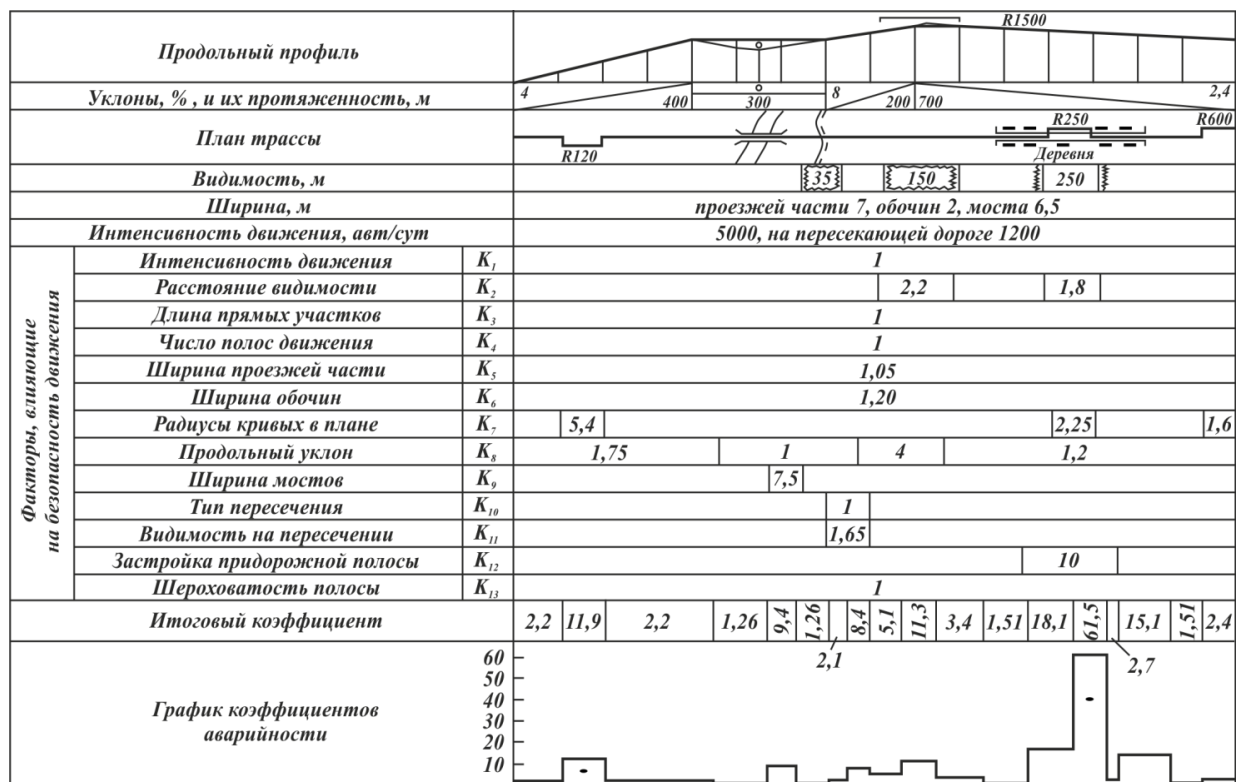


Рисунок 3 – Линейный график коэффициентов аварийности [4] (точками обозначены места зарегистрированных аварий)

В «Указания по учету требований защиты окружающей среды и землепользования при реконструкции автомобильных дорог в условиях Молдавской ССР: ВСН 9-79. – Кишинев : Минавтодор МССР, 1980. – 149 с.» разработаны коэффициенты аварийности для городских условий и очагов аварийности, однако развития данная модификация не получила, поскольку трудно учесть одновременное влияния значительного количества факторов на дорожно-транспортную аварийность в городских условиях для построения адекватного, пусть и качественного, прогноза. Главный недостаток метода – наличие только качественной оценки и невозможность проведения точного количественного прогноза.

Метод линейных графиков коэффициентов безопасности заключается в построении эпюры отношения скоростей движения (графика коэффициентов безопасности, K_6) (рисунок 4) на смежных участках дороги [5; 6]:

$$K_6 = \frac{V_i}{V_{i-1}}, \quad (4)$$

где V_i – скорость движения расчетного автомобиля на исследуемом участке, км/ч;

V_{i-1} – скорость движения на предыдущем участке, км/ч.

На рисунке 4 видно, что в ряде мест имеются значительные перепады расчетных скоростей. Именно в местах перепада скоростей возникает повышенная опасность возникновения дорожно-транспортных аварий. И чем больше этот перепад, тем больше опасность. По его величине оценивают вероятную аварийность на исследуемом участке.

Разработана классификация участков дорог по степени опасности в зависимости от скорости вхождения в опасный участок, величины замедления и состояния водителя, а также классификация степени опасности участка в зависимости от комплекса факторов, согласно которой участки делятся на неопасные, малоопасные, опасные и очень опасные. К недостаткам предлагаемого способа оценки опасности участка относятся сильное влияние индивидуальности испытуемого водителя, трудности проезда и случайности результатов испытаний в городе, необходимости корректировки разработанной классификации при изменении заданной скорости, а также невозможность количественной оценки числа аварий.

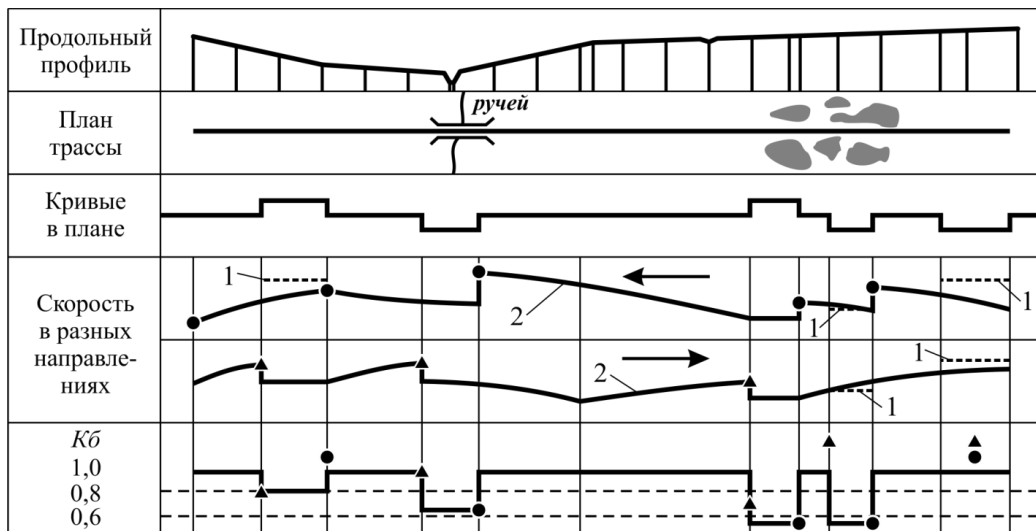


Рисунок 4 – Линейный график коэффициентов безопасности [4; 6]:
 1 – допустимая скорость на опасных участках; 2 – фактическая скорость движения;
 ▲ и ● – места перепада скорости движения в обоих направлениях

Метод конфликтных точек заключается в подсчете числа конфликтных точек (мест пересечения, слияния и отклонения траекторий дви-

жения конфликтующих участников дорожного движения) в пределах конфликтного объекта [7] (автор – Г. Раппопорт, ФРГ) (рисунок 5).

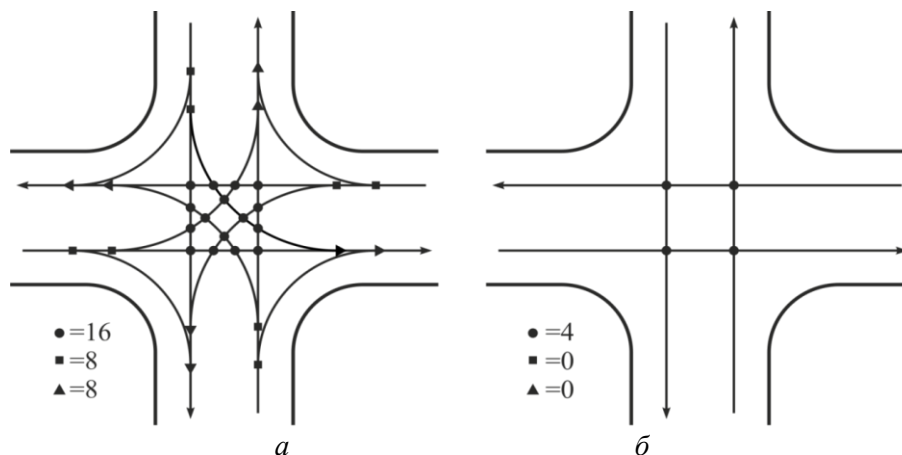


Рисунок 5 – Конфликтные точки на четырехстороннем перекрестке:
 а – с разрешенными поворотами; б – с запрещенными поворотами;
 ▲, ■ и ● – конфликтные точки соответственно «слияние», «отклонение» и «пересечение»

Имеется ряд модификаций метода, где конфликтные точки различаются между собой по степени опасности (например, степень самой опасной конфликтной точки «пересечение» равна в базовом случае 5 баллам ($\delta_i = 5$); степень опасности конфликтной точки «слияние» – 3 балла ($\delta_i = 3$), а конфликтной точки «отклонение» – 1 балл ($\delta_i = 1$) [7].

Опасность перекрестка m_a определяется по формуле

$$m_a = \sum_{i=1}^M (n_i \cdot \delta_i), \quad (5)$$

где n_i – число конфликтных точек данного вида;

δ_i – степень опасности конфликтной точки данного вида, балл;

M – число видов конфликтов на исследуемом объекте.

В зависимости от суммы баллов объекты качественно оцениваются как опасный, менее опасный и пр., причем во многих модификациях дополнительно вводятся еще и объемны движения, наличие и количество маневров и пр. Но из-за оперативности и наглядности самой распространенной является по-прежнему модификация метода, где подсчет осуществляется по суммарному числу конфликтных точек на конфликтном объекте. Именно поэтому метод используют для предварительной оценки вариантов, как правило, планировочных решений транспортных объектов. Он также не поз-

воляет количественно оценить и спрогнозировать аварийность на конфликтных объектах.

Метод конфликтных участков (автор – Ю. А. Врубель, БНТУ) заключается в определении потенциальной опасности конфликтной точки, которое осуществляется путем перемножения шести коэффициентов, представляющих группы различных факторов, влияющие на аварийность (скорость, интенсивность, видимость, условия движения, дорожные условия и время конфликтного взаимодействия) [3]. Прогнозируемое количество аварий на транспортном объекте оценивается суммой вероятного количества аварий в каждой конфликтной точке на этом объекте, рассчитываемого для всех режимов конфликтного движения (нерегулируемого и регулируемого (межфазного и внутрифазного)). Поскольку очевидно, что учет конфликтного взаимодействия участников движения в конфликтных точках сложен и зависит от их взаимного расположения, условий изменения и динамики развития дорожно-транспортной ситуации, способности саморазрешения конфликта и многих особенностей реализации конфликта, то был разработан метод конфликтных зон (автор – Д. В. Капский, БНТУ), который учитывает при определении начальной вероятности конфликта группирование конфликтных точек в конфликтную зону (в зависимости от динамических габаритов и условий конфликтного взаимодействия), порог чувствительности конфликта, ранжирование конфликтных точек в рамках конфликтной зоны, а также конфликтных зон по числу входящих в них конфликтных точек и степени их опасности, и коэффициентов, представляющих различные группы факторов, влияющих на аварийность, а также выполнено динамическое приведение аварий различной степени тяжести последствий по величине их потенциальной опасности и т. д. [5].

Однако методы конфликтных участков и конфликтных зон являются очень наукоемкими и оперируют значительным объемом средневзвешенных данных, что не в полной мере характеризует реальный транспортный поток на участках уличной сети, на которых проводится прогнозирование, требуют настройки моделей в течение 3–5 лет, поскольку данные устаревают в связи со значительным изменением условий движения. Существенным недостатком является то, что данные методы требуют многих частных методик прогнозирования аварийности по потенциальной опасности для различных режимов регулирования, раз-

ных участков уличной сети и транспортных объектов (линейных объектов, с радиусом закруглений, кольцевых развязок, развязок в разных уровнях, регулируемых и нерегулируемых пешеходных переходов, и перекрестков стандартного и нестандартного типов и пр.), что сдерживает применение данного метода на практике.

Метод конфликтных ситуаций (автор – К. Хайден, Швеция) – самый современный метод прогнозирования аварийности. Он основан на пересчете количества конфликтных ситуаций, $n_{\text{кфс}}$, в аварийность за год P_a в отдельно взятом конфликте на каждом конфликтном объекте (участке улицы) путем перемножения на коэффициент приведения $\eta_{\text{кфс}}$ по тяжести конфликта (см. таблицу 3) [8]:

$$P_a = n_{\text{кфс}} \eta_{\text{кфс}}, \quad (6)$$

где P_a – прогнозируемое число аварий, ав./год;

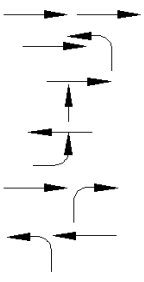
$n_{\text{кфс}}$ – число конфликтных ситуаций, кфс/год;

$\eta_{\text{кфс}}$ – коэффициент приведения конфликтных ситуаций к авариям, отличающийся для каждого вида конфликта.

Конфликтная ситуация – это такая дорожно-транспортная ситуация, при которой в течение последующего времени (до 1 с – Time-to-Collision (TTC)) произойдет столкновение или иная коллизия, если хотя бы один из участников не предпримет экстренные уклончивые действия [5; 8].

Метод позволяет не ждать длительного периода, когда накопится достаточный статистический материал по аварийности, чтобы выполнить корректировку решений по организации дорожного движения. После внедрения мероприятия проводится исследование конфликтных ситуаций, определяются опасные места, рассчитывается вероятное количество аварий и принимаются соответствующие решения. Однако полученный таким образом прогноз не всегда отличается высокой точностью, поскольку он не учитывает ряд факторов, связанных с аварийностью. Ряд проблем успешно решается при помощи видеопаратуры, которая осуществляет постоянное слежение, а в случае превышения предкритического замедления – съемку исследуемого объекта и запись изображения. Отдельно проведены исследования конфликтного взаимодействия с велосипедистами.

Таблица 3 – Значения коэффициента приведения $\eta_{\text{кфс}}$ [5; 6; 8; 9; 10] (фрагмент)

Объект	Конфликт	Особенность взаимодействия	$\eta_{\text{кфс}} 10^{-5}$	Источник
–	T–T	$V \leq 30$ км/ч	2,4	К. Хайден, Швеция
–	T–T	$V > 30$ км/ч	9,6	
–	T–П	$V_0 \leq 30$ км/ч	11,9	
–	T–П	$V_0 > 30$ км/ч	34,0	
–	T–T	–	60	Олдер, Спейсер, США
Нерегулируемый перекресток	T–T		10,4	Х. Эрке, Германия
			20,8	
			19,2	
			16,2	
			12,7	
7,1				
–	T–T	$V \leq 30$ км/ч	2,2	Р. Кульмала, Финляндия
–	T–T	$V > 30$ км/ч	24,2	
–	T–П	$V_0 \leq 30$ км/ч	15,4	
–	T–П	$V_0 > 30$ км/ч	55,1	

Среди всех автоматических обнаружений (43 ситуации), которые выглядели как потенциально опасны конфликты на дорогах с участием велосипедистов, ни один из них не был классифицирован как серьезный (в соответствии с определением, используемым в шведской методике транспортных конфликтов (Hydén, 1987)). Также был проведен небольшой тест на то, насколько хорошо потенциальные конфликты могут быть обнаружены автоматически по данным видеофиксации. Зона, выбранная для теста, имела относительно большое количество потенциальных конфликтов, сконцентрированных в течение четырех 0,5-часовых периодов (т. е. всего 2 часа видео). Траектории и профили скорости были извлечены для всех участников дорожного движения в строго установленных видеопоследовательностях специальным алгоритмом. Поскольку было известно, что положение оценивается с систематической ошибкой (из-за допущения о «ровных» участниках дороги) и что серьезных конфликтов не обнаружено, четко были установлены критерии конфликта. Необходимо учитывать различия типов участников дорожного движения и точности оценки их местоположения. Последнее особенно важно для детального изучения взаимодействия участников дорожного движения и расчета показателей безопасности. Когда будет достигнута соответствующая точность, автоматизированная система предоставит уникальную возможность для проверки теорий, связывающих поведение во время индивидуальных взаимодействий с общим уровнем безопасности, и исследования отношений основных качеств (безопасность, эффективность, комфорт и т. д.)

в системах дорожного движения. Дальнейшая работа по усовершенствованию системы видеофиксации конфликтных ситуаций включает упрощение сбора видеоданных (например, использование видеозаписи, записанной в местах с плохим обзором, использование существующих камер, установленных ранее для видеофиксации, например, правил парковок, проезда на запрещающий сигнал и пр.) и увеличение размера области, изучаемой системой [11–12]. Очень важным будущим применением автоматизированной системы исследования конфликтной ситуации является дальнейшая проверка методов управления дорожными конфликтами и других теорий, которые связывают поведение участников движения на микроуровне с характеристиками системы дорожного движения. Есть предложения по учету торможения (по загоранию сигналов торможения). Проводятся исследования видеофиксации условий взаимодействия между участниками дорожного движения, приводящих к конфликту. Выполняется использование видеоданных для калибровки моделей поведения участников движения на микроуровне, а Ervin et al., 2000 создает базу данных множества траекторий движения механических транспортных средств на различных транспортных объектах, которые представляют собой естественную среду вождения и могут использоваться, например, для оценки потенциального воздействия новой системы помощи водителю (помощник водителю). Есть много других факторов, которые определяют возможность использования технологии видеонализа в качестве инструмента измерения конфликтных ситуаций и сбора данных об условиях движе-

ния. Принимая во внимание возможные применения такого инструмента, ожидания исследователя трафика от «идеальной» системы видеоанализа могут быть сформулированы следующим образом: система видеоанализа должна давать подробные описания движений. Сложна идентификация конфликтных ситуаций. Оценка ситуации при непосредственном наблюдении является делом индивидуальным и весьма субъективным. Одни и те же ситуации различными наблюдателями могут оцениваться по-разному. Более того, один и тот же наблюдатель в разное время и в разном состоянии может давать разные оценки совершенно идентичным ситуациям. Отсутствие общепринятых эталонов приводит к тому, что дисперсия оценок конфликтных ситуаций очень велика. Однако и здесь имеется прогресс, можно моделировать число конфликтных ситуаций, основываясь на решении двумерных уравнений движения пары конфликтующих автомобилей, проезжающих через перекресток. Поэтому это направление – совершенствование метода конфликтных ситуаций – активно развивается в мире, постоянно модифицируется метод и можно ожидать значительного улучшения качества прогноза и повышения его точности.

Выводы

Необходимо понимать, что аварии являются результатом серии неудачных реализаций множества малых вероятностей разрешения дорожно-транспортных ситуаций; дорожно-транспортные аварии являются редкими событиями, поэтому анализ безопасности дорожного движения на отдельных участках затруднен только на основе факта наличия происшествий; не обо всех дорожно-транспортных происшествиях сообщается, а степень занижения данных зависит от серьезности происшествия и типов участников дорожного движения (особенно с участием страховых компаний). Методы разрешения конфликтов – это методы оценки безопасности дорожного движения, основанные на наблюдении за реальными событиями – дорожно-транспортными ситуациями и вариантами их разрешения. Именно такие методы исследования позволяют четко и точно определить степень опасности конфликта и спрогнозировать вероятную аварийность, в том числе и с учетом моделирования поведения участников движения. Метод конфликтных ситуаций является наиболее приемлемым методом оценки и прогнозирования аварийности как на реальных, так и на проектируемых объектах, что делает перспективным его дальнейшее исследование и совершенствование.

Необходимо усовершенствовать метод прогнозирования аварийности по конфликтным ситуациям. Учитывая изложенное, для развития метода необходимо:

- устранить недостатки, известных на сегодняшний день, методов прогнозирования, и проводить прогнозирование на стадии разработки решений или проектирования;

- оптимизировать любое решение в сфере организации дорожного движения и реализовывать метод конфликтных ситуаций по средствам ЭВМ, что значительно сокращает организационные и финансовые затраты;

- провести анализ статистических закономерностей процесса взаимодействия конфликтующих транспортных потоков на пересечении в конфликтных точках и классифицировать их (разбить на конфликтные зоны регулируемые перекрестки и иные объекты и типизировать их);

- выполнить детальную классификацию конфликтов по видам и провести экспериментальные исследования конфликтных ситуаций по видам и типам конфликта по достаточной выборке для построения статистически значимых зависимостей и регрессионных моделей;

- установить возможность определения вероятности возникновения аварий по статистическим закономерностям изменения характеристик конфликтующих потоков, условий движения и дорожных условий;

- разработать новую модель прогнозирования аварийности на регулируемом пересечении по конфликту транспорт-транспорт, позволяющую максимально учитывать новые факторы, влияющие на количество аварий:

- а) скорость движения и конфликтные зоны;

- б) опасность (вероятность конфликтного) взаимодействия конфликтующих потоков;

- в) классификацию типов поведения участников движения, а также их уязвимость, угол взаимодействия, порог чувствительности конфликта (для учета разных вероятностей столкновения/наезда;

- разработать алгоритм, включающий обнаружение участников дорожного движения и их прогнозируемых траекторий; оценку скорости участников дорожного движения как дифференцированного их местоположения, а также программное обеспечение для автоматизации принятия решений по оценке эффективности мер по повышению безопасности дорожного движения на конфликтных объектах (на примере регулируемого или нерегулируемого перекрестка, или пешеходного перехода стандартного типа).

Литература

1. Elvik, R. Cost-benefit analysis of road safety measures: applicability and controversies / R. Elvik // *Accident Analysis and Prevention*. – 2001. – Vol. 33. – P. 9–17.
2. *The Handbook of road safety measures* / R. Elvik [et al.]. – Second edition. – Bingley : Emerald Group Published Limited, 2009. – 1124 p.
3. Капский, Д. В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении : монография / Д. В. Капский // Минск : БНТУ, 2008. – 243 с.
4. Капский, Д. В. Метод конфликтных зон прогнозирование дорожно-транспортной аварийности по потенциальной опасности: монография / Д. В. Капский // М. : Новое знание, 2015. – 372 с.
5. Капский, Д. В. Методология повышения качества дорожного движения/ Д. В. Капский // Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.
6. Бабков, В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В. Ф. Бабков // М.: Транспорт, 1993. – 272 с.
7. Rappoport, H. A. Die Ausbildung plangeicher Knotenpunkte im Landstrassennetz / H. A. Rappoport. – *Strassen und Tiefbau*, 1955. – № 8. – S. 499–510.
8. Hydén, C., A. Várhelyi (2000). The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. *Accident Analysis and Prevention* 32, pp. 11–23.
9. Möller, E., G. Grieszbach, B. Schack, H. Witte, P. Maurizio (2000). Statistical properties and control algorithms of recursive quantile estimators. *Biometrical journal* 42, pp. 729–746.
10. Archer, J. Traffic Conflict Technique: Historical to current State-of-the-Art / J. Archer // Institutionen för Infrastruktur KTH [Electronic resource]. – Stockholm, 2001. – Mode of access : http://www.ctr.kth.se/publications/ctr2001_05.pdf. – Date of access : 07.07.2023.
11. Laureshyn, A. Application of automated video analysis to road user behaviour : doctoral thesis / A. Laureshyn. – Lund, 2010. – 202 p.
12. Räsänen, M., H. Summala (1998). Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: an in-depth study. *Accident Analysis and Prevention* 5, pp. 657–666.

UDK 656.13.08

KAPSKI Denis V., P., D. Sc. in Eng.,
vice-chairman НАС¹
d.kapsky@gmail.com

VOLYNETS Alexandra S.,
graduate student²

¹Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus

²Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 12 July 2023

ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF METHODS FOR PREDICTING AND ASSESSING ACCIDENTS AT CONFLICT SITES IN THE TRANSPORTATION NETWORK AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPMENT

Accident rate is one of the most significant losses in road traffic, as it affects each of the road users. Therefore, in order to reduce its level, it is necessary to develop a modern method of accident prediction, which would allow to accurately estimate the number of accidents and the severity of consequences not only by experimental data and survey results, but also by modelling at the decision-making stage. Such a method is the method of conflict situations, but to date it is characterized by low accuracy of prediction, not applicable for practical use, as well as the severity of obtaining (collection and analysis) of raw data and lack of automation of the decision-making process to select the optimal measure by the method of conflict situations. In the article the analysis of existing methods of accident forecasting, as-

assessment of their applicability at different stages of decision-making, as well as further prospects and directions of improvement of the method of conflict situations for the purpose of its applicability in the practice of traffic management for the purpose of optimizing its options and modes of regulation are determined.

Keywords: *road traffic accidents, accident rate, prediction, estimation, potential danger, accident rates, safety coefficients, conflict point, conflict area, conflict zone, conflict situation.*

References

1. Elvik, R. Cost-benefit analysis of road safety measures: applicability and controversies / R. Elvik // Accident Analysis and Prevention. – 2001. – Vol. 33. – P. 9–17.
2. The Handbook of road safety measures / R. Elvik [et al.]. – Second edition. – Bingley : Emerald Group Published Limited, 2009. – 1124 p.
3. Kapsky, D. V. Prediction of Accident Rate in Road Traffic: monograph / D. V. Kapsky // Minsk: BNTU, 2008. – 243 p. + incl. (in Russian)
4. Kapsky, D. V. The method of the conflict zones forecasting road traffic accident rate by potential danger: a monograph / D. V. Kapsky // Moscow: New Knowledge, 2015. – 372 p. (in Russian)
5. Kapskiy, D. V. Methodology of improving the quality of road traffic traffic / D. V. Kapsky // Minsk : BNTU, 2018. – 372 p. (in Russian)
6. Babkov, V. F. Road conditions and traffic safety: A textbook for universities / V. F. Babkov // Moscow: Transport, 1993. – 272 p. (in Russian)
7. Rappoport, H. A. Die Ausbildung plangeicher Knotenpunkte im Landstrassennetz / H. A. Rappoport. – Strassen und Tiefbau, 1955. – № 8. –S. 499–510.
8. Hydén, C., A. Várhelyi (2000). The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. Accident Analysis and Prevention 32, pp. 11–23.
9. Möller, E., G. Grieszbach, B. Schack, H. Witte, P. Maurizio (2000). Statistical properties and control algorithms of recursive quantile estimators. Biometrical journal 42, pp. 729–746.
10. Archer, J. Traffic Conflict Technique: Historical to current State-of-the-Art / J. Archer // Institutionen för Infrastruktur KTH [Electronic resource]. – Stockholm, 2001. – Mode of access : http://www.ctr.kth.se/publications/ctr2001_05.pdf. – Date of access : 07.07.2023.
11. Laureshyn, A. Application of automated video analysis to road user behaviour : doctoral thesis / A. Laureshyn. – Lund, 2010. – 202 p.
12. Räsänen, M., H. Summala (1998). Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: an in-depth study. Accident Analysis and Prevention 5. – pp. 657–666.

ОБОСНОВАНИЕ ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ НА МАРШРУТЕ МЕЖДУГОРОДНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ В РЕГУЛЯРНОМ СООБЩЕНИИ

Цель работы – повышение эффективности междугородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении путем оптимизации провозной способности на маршруте на основе учета закономерностей случайного спроса на поездки. В качестве критерия оптимальности предложена минимизация потерь перевозчиков и пассажиров из-за неполного использования вместимости транспортных средств и отказа пассажирам в поездках при вероятностной интенсивности пассажиропотока. Выдвинуто и подтверждено предположение, что интенсивность пассажиропотока может быть описана нормальным законом распределения. Предложены выражения для определения в зависимости от принятой провозной способности математического ожидания суточного числа фактически перевозимых пассажиров на маршруте и математического ожидания суточного числа пассажиров, которым будет отказано в перевозке на маршруте. На основании проведенной работы определено, что при оптимальном значении коэффициента запаса провозной способности, представляющего собой отношение значений принятой провозной способности к средней интенсивности пассажиропотока, при междугородных автомобильных перевозках по заранее установленному расписанию практически полностью удовлетворяется суточный случайный спрос на поездки. При этом значение коэффициента запаса провозной способности находится в диапазоне 1,07–1,28 при значениях коэффициента вариации интенсивности пассажиропотока в пределах 0,15–0,25 и длины маршрута перевозки в пределах 50–300 км. Установлено, что оптимальное значение коэффициента запаса провозной способности возрастает при увеличении коэффициента вариации интенсивности пассажиропотока и уменьшении расстояния поездки пассажиров. Определено, что решение о необходимой провозной способности на маршруте должно приниматься с учетом периодических изменений интенсивности пассажиропотока.

Ключевые слова: транспортные средства, пассажиры, междугородные перевозки, регулярное сообщение, провозная способность на маршруте, потери перевозчика, потери пассажиров, критерий оптимальности, случайность интенсивности пассажиропотока, коэффициент запаса провозной способности.

Введение

Объектом исследования является система междугородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении.

Цель работы – обоснование необходимой провозной способности на междугородном автомобильном маршруте перевозок пассажиров в регулярном сообщении с учетом случайности интенсивности пассажиропотока.

В процессе выполнения работы предложен критерий оптимальности для обоснования необходимой провозной способности на маршруте перевозок пассажиров в регулярном сообщении, получены зависимости для опреде-

ления значений параметров функционирования системы, входящих в целевую функцию, собрана и обработана статистическая информация о перевозках на типичном междугородном маршруте с целью установления закона распределения интенсивности пассажиропотока, проведены компьютерные расчеты и анализ их результатов для различных сочетаний значений исходных данных.

Разработанный подход для обоснования провозной способности отличается тем от известных [1, с. 20] и другие, что позволяет принимать оптимальные решения при организации междугородных перевозок в регулярном

сообщении на основе имеющейся информации о пассажиропотоках с учетом их случайного характера относительно учитываемой периодической изменчивости по дням недели [2, с. 289] и месяцам года [3, с. 234].

Обоснование провозной способности на маршруте

Автомобильные перевозки пассажиров в регулярном сообщении могут выполняться по следующим схемам:

1) схема 1. перевозки пассажиров на маршруте по установленному расписанию с выполнением при необходимости дополнительных рейсов [4];

2) схема 2. перевозки пассажиров по установленному интервалу движения транспортных средств (ТС) на маршруте.

Междугородные автомобильные перевозки пассажиров в регулярном сообщении выполняются по 1-й схеме ТС с пассажироместимостью 8 пассажиров и более (автобусами). Схема 1 предусматривает перевозки на маршруте ТС различной вместимости, движущимися по расписанию, установленному по дням недели. При этой схеме провозная способность на маршруте за период времени без учета дополнительных рейсов является фиксированной. Поэтому из-за случайности интенсивности пассажиропотока при этой схеме в некоторые дни провозная способность оказывается недостаточной, а в другие – излишней. При недостаточной провозной способности пассажиры вынуждены пользоваться или другими видами перевозок или другими видами транспорта (автомобилями-такси, железнодорожным транспортом и т. п.) или откладывать поездку на более поздний срок. При этом перевозчик несет потери из-за снижения объемов перевозок. При излишней провозной способности снижается использование вместимости ТС и, как следствие, увеличиваются удельные экономические затраты и соответственно тарифы на перевозки, выбросы вредных веществ и диоксида углерода (CO_2) на единицу транспортной работы.

В данной работе оптимизация провозной способности рассматривается на примере маршрутов междугородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном экспрессном сообщении без промежуточных остановочных пунктов, когда длина маршрута и расстояние перевозки пассажира совпадают. Поскольку на междугородных маршрутах наблюдается небольшая неравномерность объемов перевозок по направлениям [2, с. 289; 5, с. 28],

то пассажиропоток рассмотрен в одном направлении.

В качестве целевой функции Z для нахождения оптимального значения требуемой провозной способности Q_{nc} (пасс./сут) на маршруте предлагается минимизация удельных потерь на одного перевозимого пассажира:

$$Z = Z_p + Z_{nacc} = \min_{Q_{nc}}, \quad (1)$$

где Z_p – ожидаемые удельные экономические потери перевозчиков при работе на маршруте от неосвоенного пассажиропотока (упущенная выгода) и неполного использования вместимости ТС при принятом Q_{nc} , руб./пасс;

Z_{nacc} – ожидаемые удельные социально-экономические потери пассажиров из-за недостаточной провозной способности ТС на маршруте при принятом Q_{nc} , руб./пасс.

Каждая из составляющих целевой функции Z определяется по формулам:

$$Z_p = (Q_{nc} - Q_\phi + Q_{отк}) \cdot l_n \cdot d_b / Q_\phi; \quad (2)$$

$$Q_{nc} \geq Q_\phi,$$

$$Z_{nacc} = Q_{отк} \cdot s_{сут} / Q_\phi; \quad (3)$$

$$Q_{nc} = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (4)$$

где Q_ϕ – математическое ожидание фактического числа перевозимых пассажиров на маршруте при принятом Q_{nc} , пасс/сут;

$Q_{отк}$ – математическое ожидание суточного числа пассажиров, которые получают отказ на перевозку при принятом Q_{nc} , пасс/сут;

l_n – расстояние поездки пассажира, км;

d_b – выручка, получаемая перевозчиком за единицу транспортной работы при перевозке пассажиров, руб./пасс-км;

$s_{сут}$ – потери пассажира из-за отказа на перевозку в данные сутки, руб./пасс;

n – суточное число рейсов, выполняемых ТС на маршруте по установленному расписанию;

q_i – вместимость ТС, которым выполнен i -й рейс на маршруте, пасс.

Что касается значений l_n , d_b , $s_{сут}$, то они являются или характеристикой перевозок на маршруте как l_n или сложившимися данными на маршруте как d_b или могут быть рассчита-

ны по существующим методикам как $s_{сут}$. По состоянию на 2022 год значения могут быть приняты следующими:

$$d_b = 0,08 \text{ руб./пасс-км};$$

$$s_{сут} = Z_{мин}/(D_r/12) \approx 21,7 \text{ руб./пасс},$$

где $Z_{мин}$ – установленный минимальный размер месячной заработной платы в Беларуси ($Z_{мин} = 457$ руб, на 01.01.2022);

D_r – среднее количество рабочих дней в году при пятидневной рабочей неделе ($D_r = 253$);

12 – число месяцев в году.

При принятии оптимальных решений для определения параметров Q_ϕ и $Q_{отк}$, учитываемых в предлагаемой методике, возникает задача определения значения интенсивности пассажиропотока на маршруте как случайной величины за календарный период (день недели с учетом сезона года) в виде его математического ожидания, среднеквадратического отклонения и закона распределения. При известных математическом ожидании суточного пассажиропотока, его среднеквадратическом отклонении и законе распределения по известным соотношениям теории вероятностей и математической статистики находятся значения Q_ϕ и $Q_{отк}$.

Значения Q_ϕ и $Q_{отк}$ в зависимости $Q_{пс}$ определяются видом и параметрами закона распределения суточной интенсивности пассажиропотока Q_n .

При известной теоретической функции распределения $F(Q_n)$ (рисунок 1) находим:

– вероятность $p_{пс}$, что пассажиропоток на маршруте не превышает $Q_{пс}$

$$p_{пс} = F(Q_{пс}) = \int_{Q_{мин}}^{Q_{пс}} f(Q_n) dQ_n; \quad (5)$$

– математическое ожидание суточного числа фактически перевозимых пассажиров на маршруте Q_ϕ , пасс/сут

$$Q_\phi = \int_{Q_{мин}}^{Q_{пс}} Q_n \cdot f_n(Q_n) dQ_n + (1 - p_{пс}) \cdot Q_{пс}; \quad (6)$$

– математическое ожидание суточного числа пассажиров, которым будет отказано в перевозке на маршруте, $Q_{отк}$, пасс/сут

$$Q_{отк} = Q_{пс} - Q_\phi, \quad (7)$$

где Q_n – случайное значение интенсивности суточного пассажиропотока на маршруте, пасс/сут;

$f(Q_n)$ – функция плотности распределения вероятностей (дифференциальная) интенсивности суточного пассажиропотока Q_n ;

$p_{пс}$ – вероятность того, что $Q_n \leq Q_{пс}$;

$Q_{пс}$ – математическое ожидание интенсивности суточного пассажиропотока на маршруте, пасс/сут;

$Q_{мин}$ – нижняя граница интегрирования для принятого закона распределения.

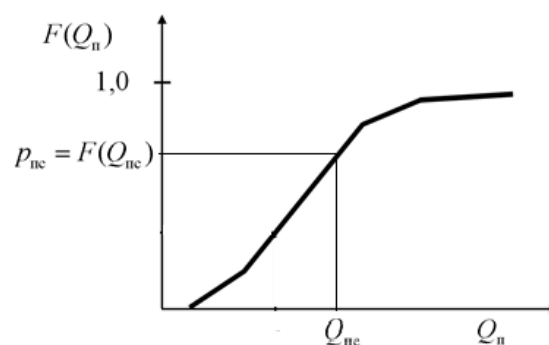


Рисунок 1 – Графическое представление результатов расчета

Исходя из физики процессов, интенсивность потоков на обслуживание, в том числе пассажиропотоков, обычно имеют распределение по закону Пуассона. Это распределение описывает случайную дискретную величину, представляющую собой число событий, произошедших за фиксированное время, при условии, что данные события происходят с некоторой фиксированной средней интенсивностью и независимо друг от друга. Однако применительно к суточным пассажиропотокам, интенсивность которых может составлять несколько сотен, дискретные распределения неприменимы. Распределение суточных пассажиропотоков при больших значениях интенсивности могут быть приближенно описаны с помощью непрерывных распределений, таких как нормальное или Эрланга [6, с. 573]. В свою очередь распределение Эрланга при больших значениях параметра k , который определяется коэффициентом вариации V_n случайной величины как $k = \{\max(\text{cint}(1/V_n)^2; 1) (\text{cint}(\dots) - \text{функция округления})\}$, приближено к нормальному распределению, например, при $V_n = 0,20$ $k = 25$ и распределение Эрланга и нормальное различаются незначительно. Наиболее подходящий закон распределения интенсивности пассажиропотока на маршруте может быть

обоснован на основе сбора и обработки статистической информации, например, по минимуму критерия Романовского.

В работе была исследована случайность пассажиропотока в одни и те же дни недели при рейсах (будние дни), выполняемых по установленному расписанию, на маршруте Минск – Могилев, и на которые были проданы билеты через кассы филиала «Автовокзал» государственного предприятия «Минсктранс».

Анализ результатов обработки данных подтвердил принятую гипотезу, что интенсивность пассажиропотока как случайная величина описывается нормальным законом распределения. Согласованность эмпирического и теоретического распределений подтверждается следующими критериями [7; 8]:

- критерием Романовского, поскольку вычисленная статистика, равная 0,297, меньше 3,0;

- критерием Пирсона χ^2 , так как вычисленная статистика $\chi^2 = 1,42$ меньше табличного значения $\chi^2_{\gamma,t} = 2,71$ при принятом доверительном уровне вероятности $\gamma = 0,10$ (уровень вероятности p-value = 0,23 больше $\gamma = 0,10$);

- критерием Мизеса-Смирнова, поскольку вычисленная статистика $\omega^2 = 0,562$ меньше табличного значения $\omega^2_\alpha = 1,42$ при принятом доверительном уровне вероятности $\alpha = 0,20$ (уровень вероятности p-value = 0,696 больше $\alpha = 0,20$).

Для исследованной интенсивности суточного пассажиропотока в будние дни выборочное математическое ожидание составило $Q_{nm} = 100$ пасс, выборочное среднеквадратическое отклонение – $s = 16,7$ и соответственно коэффициент вариации $v_n \approx 0,17$.

Для нормального закона распределения пассажиропотока как случайной величины функция плотности распределения (дифференциальная) $f(Q_n)$ и функция распределения $F(Q_n)$ определяются параметрами a и σ , где $a = Q_{nm}$ и $\sigma = s$. В свою очередь $s = V_n \cdot Q_{nm}$.

При этом для нормального закона распределения нижняя граница интегрирования Q_{min} может быть принята как $Q_{nm} - 3,9\sigma$ ($Q_{min} \geq 0$) с обеспечением приемлемой точности интегрирования.

Поскольку для некоторых законов распределения, в частности для нормального, значения определенных интегралов в формулах (8), (9) не выражаются через элементарные функции, то их значения могут определяться чис-

ленным интегрированием или по аппроксимирующим зависимостям. Вычисление значений определенных интегралов производилось одним из численных методов – модифицированным методом прямоугольников.

Тогда для нормального закона распределения получаем:

$$p_{nc} = \int_{Q_{min}}^{Q_{nc}} 1/(s \sqrt{2\pi}) \cdot \exp(-(Q_n - Q_{nm})^2 / (2s^2)) dQ_n ; (8)$$

$$Q_\phi = \int_{Q_{min}}^{Q_{nc}} Q_n / (s \sqrt{2\pi}) \exp(-(Q_n - Q_{nm})^2 / (2s^2)) dQ_n + (1 - p_{nc}) \cdot Q_{nc} , (9)$$

Предлагаемый подход решения задачи позволяет на основе обработки данных по суточной интенсивности пассажиропотока на маршруте по дням недели и последующего определения оценки их математического ожидания Q_{nm} , среднеквадратического отклонения s и закона распределения, рассчитать оптимальную суммарную провозную способность ТС для работы по установленному расписанию.

Для поиска оптимальной провозной способности по вышеприведенной постановке задачи принятия решений и в предположении, что закон распределения интенсивности пассажиропотока нормальный, разработана компьютерная программа. Для поиска оптимумов применен метод прямого перебора с шагом 1,0 [9, с. 21].

Результаты расчета для различных значений Q_{nc} при $Q_{nm} = 100$ пасс, $v_n = 0,17$, $l_n = 200$ км, $d_n = 0,08$ руб./пасс-км и $s_{сут} = 21,7$ руб./пасс представлены на рисунке 2. Анализ расчетов показал, что целевая функция Z при перевозках на расчетном маршруте в зависимости от принятой провозной способности имеет экстремум при $Q_{nc} = 110$ пасс/сут. При этом потери перевозчика от неполного использования пассажироместимости (коэффициент использования пассажироместимости, как отношение Q_ϕ / Q_{nc} равен 0,884) и потери выручки из-за отказов в перевозке (среднее суточное количество отказов 2,75) суммарно составили 2,551 руб./пасс, а потери пассажиров из-за отказов в перевозке – 0,614 руб./пасс.

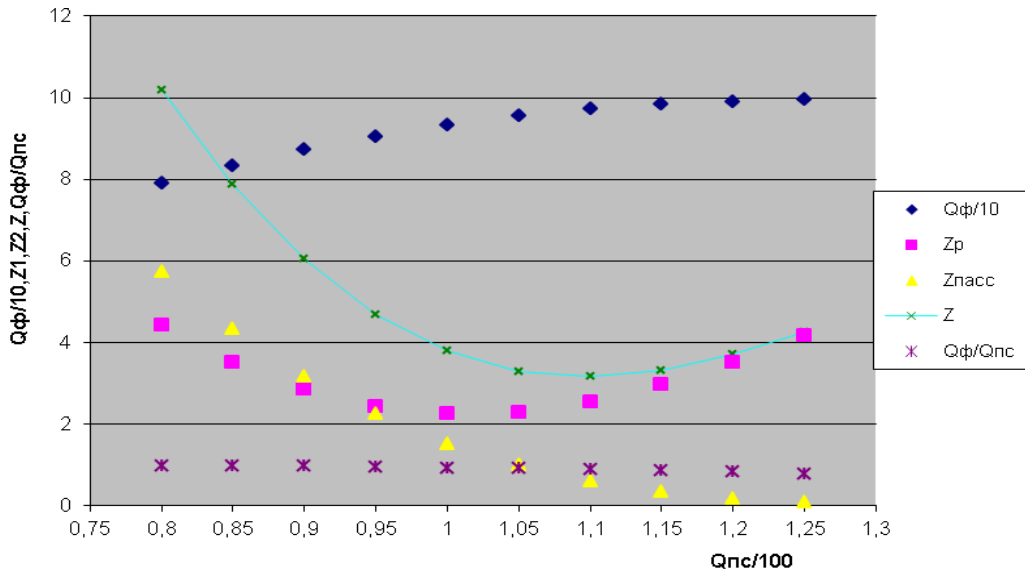


Рисунок 2 – Графики оценочных показателей работы на маршруте

Из результатов расчетов следует, что зависимость оптимальных отношений значений $Q_{пс}$ к $Q_{пм}$ ($k_3 = Q_{пс} / Q_{пм}$ – коэффициент запаса провозной способности) практически не зависит от средней интенсивности пассажиропото-

ка $Q_{пм}$ и существенно зависит от коэффициента его вариации v_n и расстояния поездки пассажиров l_n (таблицы 1 и 2 и рисунки 3 и 4).

Таблица 1 – Зависимость оптимальных значений коэффициента k_3 от $Q_{пм}$ и v_n ($l_n = 200$ км)

v_n	Значение $k_3 = Q_{пс} / Q_{пм}$ при $Q_{пм}$ и v_n					
	$Q_{пм} = 50$	$Q_{пм} = 100$	$Q_{пм} = 150$	$Q_{пм} = 200$	$Q_{пм} = 250$	$Q_{пм} = 300$
0,15	1,080	1,080	1,087	1,085	1,084	1,083
0,17	1,100	1,100	1,093	1,095	1,096	1,093
0,19	1,100	1,110	1,107	1,110	1,108	1,107
0,21	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120	1,120
0,23	1,140	1,130	1,133	1,135	1,132	1,133
0,25	1,140	1,150	1,147	1,150	1,144	1,147

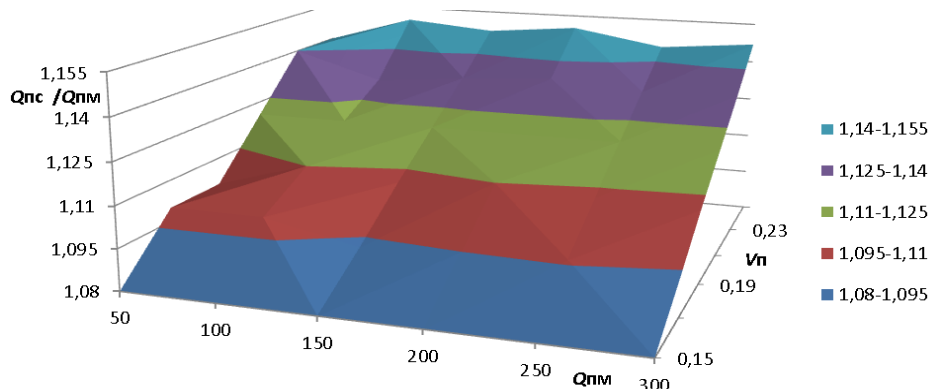


Рисунок 3 – Зависимость оптимального коэффициента k_3 от $Q_{пм}$ и v_n

Таблица 2 – Зависимость оптимальных значений коэффициента k_3 от l_n и v_n ($Q_{пм} = 100$)

v_n	Значение $k_3 = Q_{пс} / Q_{пм}$ при l_n и v_n					
	$l_n = 50$	$l_n = 100$	$l_n = 150$	$l_n = 200$	$l_n = 250$	$l_n = 300$
0,15	1,160	1,120	1,100	1,080	1,070	1,070
0,17	1,190	1,140	1,110	1,100	1,080	1,080
0,19	1,210	1,150	1,130	1,110	1,100	1,090
0,21	1,230	1,170	1,140	1,120	1,110	1,100
0,23	1,250	1,190	1,150	1,130	1,120	1,110
0,25	1,280	1,210	1,170	1,150	1,130	1,120

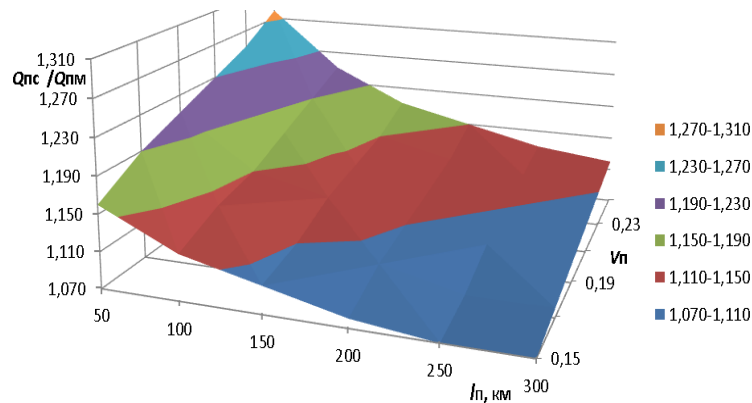


Рисунок 4 – Зависимость оптимального коэффициента k_3 от l_n и v_n .

По результатам расчетов проведен корреляционно-регрессионный анализ и получена зависимость для приближенного определения оптимального значения коэффициента запаса провозной способности k_3 :

$$k_3 = 1,88 \cdot l_n^{-0,0620} \cdot v_n^{0,119} \quad (10)$$

Значимость факторов, входящих в зависимость, подтверждается вычисленным значением вероятности p-value критерия Стьюдента для них, которое менее 0,0001, при рекомендуемом уровне значимости не более 0,01–0,10. Адекватность уравнения регрессии в целом подтверждается значением критерия Фишера, равным $F = 1357$, что соответствует значению вероятности p-value, равному 0,001, при рекомендуемом уровне значимости не более 0,01–0,05 [7; 8]. Для полученной зависимости средняя относительная линейная ошибка аппроксимации составляет 0,4 %.

Из анализа результатов расчетов следует, что для полного удовлетворения потребностей пассажиров в перевозках необходимо:

1) выполнение перевозок в регулярном сообщении по установленному расписанию по дням недели с оптимальной провозной способностью;

2) при превышении спроса на перевозки над провозной способностью из-за случайности интенсивности пассажиропотока выполнение дополнительных рейсов. При этом, поскольку такие рейсы выполняются оперативно для удовлетворения повышенного спроса, то дополнительных потерь у перевозчиков и пассажиров возникать не должно.

Дополнительные рейсы к рейсам по заранее установленному расписанию рекомендуется выполнять ТС малой вместимости (ТС категории М₂) в экспрессном сообщении (маршрутные такси) по причине относительно невысоких значений отказов в перевозке из-за случайных превышений интенсивности пассажи-

ропотока от осваиваемого при перевозках по установленному расписанию. При этом право на выполнение дополнительных рейсов должно предоставляться только перевозчикам, работающим на маршруте по установленному расписанию. Решение о необходимости выполнения дополнительного рейса, расписании его выполнения, пассажироместимости ТС должно приниматься оператором перевозок пассажиров в регулярном сообщении или терминалом с разрешения указанного оператора на основе величины неудовлетворенного спроса на перевозки на маршруте.

Практическая реализация предложенного обоснования провозной способности на маршрутах междугородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении позволяет принимать оптимальные решения, обеспечивающие эффективную работу перевозчиков и гарантированное качество транспортного обслуживания пассажиров.

Заключение

На основании проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1) установлено, что при оптимальном значении коэффициента запаса провозной способности k_3 , представляющего собой отношение значений провозной способности Q_{nc} к средней интенсивности пассажиропотока Q_{nm} , при междугородных автомобильных перевозках пассажиров по заранее установленному расписанию практически полностью удовлетворяется случайный спрос на поездки. При этом значение коэффициента k_3 находится в диапазоне 1,07–1,28 при значениях коэффициента вариации интенсивности пассажиропотока в пределах 0,15–0,25 и длины маршрута перевозки в пределах 50–300 км;

2) оптимальное значение коэффициента запаса провозной способности k_3 возрастает при увеличении коэффициента вариации интен-

сивности пассажиропотока и уменьшении расстояния поездки пассажиров;

3) для принятия решения об оптимальной провозной способности на маршруте междугородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении и применения изложенного в данной работе подхода, должны быть установлены закономерности изменения интенсивности пассажиропотока. Решение о необходимой провозной способности должно приниматься по дням недели с учетом того, что на междугородных маршрутах в предвыходные и выходные дни интенсивность пассажиропотоков может существенно отличаться от других дней недели;

4) для принятия решений по организации междугородных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении предложенное обоснование должно быть дополнено оптимизацией пассажироместимости ТС и соответственно частоты выполнения рейсов на маршруте [10].

Литература

1. Васильев, А. Г. Методика расчета количества автобусов для обеспечения потребностей перевозки пассажиров междугородных рейсов / А. А. Васильев, Р. Н. Ковалев // Транспорт Урала, Екатеринбург. – № 1 (28), 2011. – С. 19–24.

2. Гудков, В. А. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для вузов / В. А. Гудков [и др.]; под ред. В. А. Гудкова. – М.: Горячая линия// Телеком, 2006. – 448 с.

3. Спирин, И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозка-

ми : Учебник / И. В. Спирин. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.

4. О некоторых вопросах автомобильных перевозок пассажиров [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 июня 2008 г., № 972: с изм. и доп. // ЭТАЛЮН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информац. Респ. Беларусь. – Минск, 2022

5. Ларин, О. Н. Организация пассажирских перевозок: учебное пособие / О. Н. Ларин. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 104 с.

6. Корн, Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 832 с.

7. Седюкевич, В. Н. Математические модели в транспортных системах [Электронный ресурс]. / В. Н. Седюкевич. – Минск: БНТУ, 2009. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/889>.

8. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. – М. : Наука, 1983. – 416 с.

9. Гончаров, В. А. Методы оптимизации: учебное пособие. – Москва: МГИЭТ, 2008. – 188 с.

10. Янч, Е. А. Обоснование вместимости транспортных средств для междугородных перевозок пассажиров в регулярном сообщении [Электронный ресурс]. / Е. А. Янч, В. Н. Седюкевич // НИРС–2022. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 199–202. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/123735>

UDK 656.13

SEDZIUKEVICH Vladimir N., Ph. D. in Engineering, Associate Professor,
Associate Professor
E-mail: U.Sedziukevich@gmail.com, sedziukevich@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05.06.2023

JUSTIFICATION OF THE CARRYING CAPACITY ON THE ROUTE OF INTERCITY AUTOMOBILE TRANSPORTATION OF PASSENGERS IN REGULAR TRAFFIC

The goal of the work is to increase the efficiency of intercity road transport of passengers in regular traffic by optimizing carrying capacity on the route based on taking into account the patterns of random demand for travel. Minimization of losses of carriers and passengers due to underutilization of vehicle ca-

capacity and denial of travel to passengers at a probabilistic intensity of passenger traffic is proposed as an optimality criterion. The assumption has been put forward and confirmed that the intensity of passenger traffic can be described by a normal distribution law. Expressions are proposed for determining, depending on the accepted carrying capacity, the mathematical expectation of the daily number of passengers actually transported on the route and the mathematical expectation of the daily number of passengers who will be refused transportation on the route. Based on the work carried out, it was determined that at the optimal value of the carrying capacity reserve coefficient, which is the ratio of the values of the accepted carrying capacity to the average intensity of passenger traffic, during intercity road transport according to a predetermined schedule, the daily random demand for travel is almost completely satisfied. At the same time, the value of the carrying capacity safety factor is in the range of 1.07–1.28 by values of the coefficient of variation of passenger traffic intensity in the range of 0.15–0.25 and the length of the transportation route in the range of 50–300 km. It has been established that the optimal value of the carrying capacity safety factor increases with an increase in the coefficient of variation of passenger traffic intensity and a decrease in the travel distance of passengers. It was determined that the decision on the required carrying capacity on the route should be made taking into account periodic changes in the intensity of passenger traffic.

Keywords: *vehicles, passengers, intercity transportation, regular service, carrying capacity on the route, carrier losses, passenger losses, optimality criterion, randomness of passenger traffic intensity, carrying capacity reserve factor.*

Reference

1. Vasiliev, A. G. Methodology for calculating the number of buses to meet the needs of transporting passengers on intercity flights / A. G. Vasiliev, R. N. Kovalev // *Transport of the Urals, Ekaterinburg.* – № 1 (28), 2011. – P. 19–24.
2. Gudkov, V. A. Passenger automobile transportation: a textbook for universities / V. A. Gudkov [etc.]; edited by V. A. Gudkova. – M.: Hotline // Telecom, 2006. – 448 p.
3. Spirin, I. V. Organization and management of passenger automobile transportation: Textbook / I. V. pirin. – M. : Publishing center «Academy», 2003. – 400 p.
4. On some issues of automobile transportation of passengers [Electronic resource]: resolution of the Council of Ministers of the Republic. Belarus, June 30, 2008, № 972: as amended. and additional // STANDARD. Legislation of the Republic of Belarus / National. legal information center Rep. Belarus. – Minsk, 2022.
5. Larin, O. N. Organization of passenger transportation: textbook / O. N. Larin. – Chelyabinsk: Publishing house of SUSU, 2005. – 104 p.
6. Korn, G. Handbook of mathematics (for scientists and engineers) / G. Korn, T. Korn. – M.: Nauka, 1974. – 832 p.
7. Sedziukevich, V. N. Mathematical models in transport systems [Electronic resource]/ V. N. Sedziukevich. – Minsk: BNTU, 2009. – Access mode: <https://rep.bntu.by/handle/data/889>.
8. Tables of mathematical statistics / L. N. Bolshev, N. V. Smirnov. – M. : Nauka, 1983. – 416 p.
9. Goncharov, V. A. Optimization methods: textbook. – Moscow: MGIET, 2008. – 188 p.
10. Yanch, E. A. Justification of the capacity of vehicles for intercity passenger transportation in regular traffic [Electronic resource] / E. A. Yanch, V. N. Sedziukevich // NIRS-2022. – Minsk: BNTU, 2022. – P. 199–202. – Access mode: <https://rep.bntu.by/handle/data/123735>.

УДК 656.03

МИХАЛЬЧЕНКО А. А., канд. техн. наук, доцент,
доцент¹
E-mail: mihh-19@mail.ru.

ВУ ХАЙЛОНГ²
E-mail: hailong_68@126.com

¹УО «Белорусский государственный университет транспорта»,
г. Гомель, Республика Беларусь

²Гуанчжоуский профессиональный инженерно-технологический колледж, г. Гуанчжоу, КНР

Поступила в редакцию 05.06.2023

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

В статье результаты исследований, выполненных при формировании логистических схем международных перевозок экспортных грузов при ограничениях западного направления для Республики Беларусь. Исследованиями установлено, что размер провозных платежей за логистику перевозки экспортных грузов в КНР грузов зависит от вида отправки (груз может быть отправлен партией, равной контейнеру, вагону, железнодорожному составу); скорости перевозки (по железной дороге груз может перевозиться грузовой, большой или пассажирской скоростью), расстояния перевозки (провозная плата может взиматься за расстояние по кратчайшему направлению, так называемое тарифное расстояние при перевозках грузов большой скоростью (контейнерные поезда) либо за действительно пройденное расстояние в случае перевозки массовых грузов), типа подвижного состава (по железной дороге груз может перевозиться в универсальных, специализированных или изотермических вагонах, в цистернах или на платформах. При использовании логистики с вовлечением нескольких видов транспорта для массовых грузов тариф на перевозку будет ниже) и объем перевозимого груза в одной партии (с учетом его соединения с грузами другой страны (например, Российской Федерации) для формирования партии груза на одно судно). Изучено влияние экономико-технологических факторов на уровень тарифа на перевозки экспортных грузов с использованием в логистической схеме морских портов Российской Федерации. Используются формализованные методы исследований отбора комбинаций параметров, влияющих на уровень тарифов и правомочность отнесения расходов при формировании логистических схем.

Ключевые слова: *перевозочный процесс, экспортный груз, транспорт, транспортная логистика, интермодальность, мультимодальность, международные перевозки, маршрут, транспортные коридоры логистическая сеть, качество обслуживания, тариф, методы исследования, целевая задача, практический результат.*

Введение

В основе функционирования транспортной логистики как отрасли народного хозяйства лежит транспортный процесс. Содержание этого термина определяется как целесообразное функционирование транспорта по удовлетворению транспортной продукцией народного хозяйства в целом или отдельного региона. На практике как синоним используется термин «перевозочный процесс». Однако последний является более узким понятием, так его употребление правомерно только для конкретной перевозочной ситуации, связанной непосред-

ственно с доставкой грузов или пассажиров из пунктов отправления в пункты назначения. Таким образом, можно считать, что совокупность всех перевозочных процессов в рамках определенного времени и территориального пространства составляет содержание общего транспортного процесса. При этом имеет место влияние информационной логистики на эффективность интегральных схем перевозки грузов [1].

В связи с тем, что транспортный или перевозочный процесс несет на себе определенную целевую функцию, он должен вписываться

в рамки определенной регламентации, позволяющей выполнять эту функцию наиболее эффективным образом. Такой порядок регулирования транспортного и перевозочного процесса определяется технологией, организацией и системой управления транспортным процессом. Технология предусматривает строго определенный порядок выполнения соответствующих операций или действий с четким указанием продолжительности, последовательности, а также расхода материальных и трудовых ресурсов для выполнения этих операций. Так, например, подобная регламентация определяет порядок подготовки морского судна к погрузке или выгрузке грузов в порту, производстве грузовых работ в транспортных узлах, обработку поездов на железнодорожной станции, подготовку воздушного судна к взлету, технического обслуживания автомобилей» производство ремонтных работ подвижного состава, магистральных путей. Технологические процессы и порядок выполнения работ определены и закреплены в документах отраслевого значения и являются обязательными к исполнению при реализации технических или коммерческих функций любого линейного транспортного подразделения и подготовке принадлежащих ему транспортных средств к коммерческой эксплуатации [2].

Транспортная логистика в качестве нового метода повышения эффективности транспортных потоков и оптимизации грузовых перевозок посредством специализированных логистических центров дает возможность снижения затрат потребителей и производителей, оказывающих транспортные услуги. В настоящее время, используемые в сфере перевозок технические базы и технологии терминала, требуют коренных преобразований [3].

Исследование влияющих факторов

Для государств, имеющих протяженную сеть транспортных коммуникаций и развитую транспортную систему (Россия, КНР), грузовые перевозки не создают проблем экономического характера. И, наоборот, для стран с небольшой географической территорией грузовые перевозки имеют высокую степень зависимости от складывающихся тарифов и логистики. В таких странах интеграция различных видов транспорта привела к высокому уровню интермодальности перевозок. При этом важную роль играет развитие контейнерных перевозок [4].

Развитие мультимодальности или интермодальности грузовых перевозок в последние годы становится характерным для небольших по

территории государств и географически расположенных на трассах прохождения международных транспортных коридоров. Так для Белорусской железной дороги развитие мультимодальности грузовых перевозок получило новое развитие при стыковании различной ширины колеи [5]. Как показал практический опыт, при введении, наряду с выполнением юнимодальной перевозки на направлении Москва – Берлин – Париж, мультимодальных маршрутов Москва – Минск – Прага и Москва – Минск – Варшава с пересадкой пассажиров по станции Брест из вагонов колеи 1520 мм в вагоны польских и чешских железных дорог европейской колеи. В качестве второго экспериментального варианта организовано движение пассажирского поезда международного сообщения Киев – Минск – Вильнюс – Рига. Особенностью данного поезда является использование унимодальной (прямой рейс в межгосударственном сообщении Киев – Рига, Минск – Рига, Минск – Киев) и мультимодальной (с перераспределением пассажиропотока данного поезда на территориях форм организации перевозки пассажиров и финансовой модели Украины, Беларуси, Литвы и Латвии) в зоне влияния трех валют и собственной системы управленческого учета. При этом произошло существенное снижение общего тарифа на международную пассажирскую перевозку. На него оказало влияние нескольких экономико-технологических факторов, исследование которого выполнено в рамках международного научно-исследовательского проекта. В процессе исследования использованы основные положения теории транспортных систем, характерные для исследования экономики транспорта.

Ретроспективный анализ влияющих факторов

Современная пассажирская транспортная сеть Беларуси исторически сформирована в середине XIX в. на основе Российских железных дорог, главным элементом которой стали транзитные пассажирские направления, ставшие в XX–XXI вв. международными. Если первоначально международные пассажирские тарифы формировались как обеспечение коммерческого продвижения рынка железнодорожных перевозок для обеспеченного населения и поэтапного исключения из перевозочного процесса гужевого транспорта (так называемого частного каретного выезда). В этот же период был сформирован затратный метод построения пассажирского тарифа, который используется в XXI в. стал неэффективным при

выполнении международных перевозок государств, имеющих небольшую территорию [4].

Эффективность функционирования транспортно-логистического комплекса и развития транспортно-логистической инфраструктуры играют важную роль в развитии экономики любого государства, особенно при наличии обширной территории страны (Россия, Китай) и больших расстояний между центрами международного производства и потребления. В настоящих условиях эффективность работы мирового транспортно-логистического комплекса при выполнении грузовых перевозок недостаточно высокая. Согласно исследованию Всемирного банка, большинство стран мира по индексу эффективности логистики имеют существенное различие [5].

По итогам 2019–2020 годов, инвестиционную активность, сдерживающие факторы и меры государственной поддержки, а также прогнозы и экспертные мнения участников рынка логистики перевозок грузов о перспективах его развития. Пандемия по-разному отразилась на состоянии грузообразующих отраслей экономики. В связи с этим авторы проанализировали тенденции и перспективы развития секторов логистики, влияющих на грузовые потоки угля, зерна, минеральных удобрений, нефтяных и контейнерных грузов [6].

На величину тарифа логистических услуг при перевозках грузов между Беларусью и КНР оказывают влияние факторы скорости доставки, сохранности грузов, ее продолжительности. Степень влияния факторов трендового характера на объем перевозок грузов в международном сообщении показана на рисунке 1.

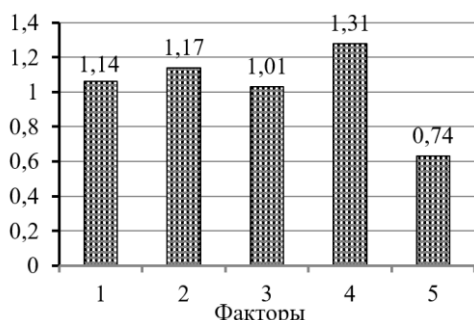


Рисунок 1 – Уровень влияния трендовых факторов на объем перевозок грузов в международном сообщении:

- 1 – геополитики, 2 – платежеспособности,
- 3 – уровня сервиса, 4 – тарифной политики,
- 5 – сезонности перевозок

Из приведенной диаграммы видно, что на изменение объема перевозок грузов наибольшее влияние оказал трендовый фактор тарифной политики. Его влияние связано с нестабильностью тарифов на международные перевозки грузов. Вторым по значимости оказался фактор плате-

жеспособности потенциальных отправителей грузов, особенно в странах Юго-Восточной Азии, с которыми традиционно выполняются международные связи Промышленных предприятий Беларуси. Показатель уровня сервиса оказался решающим при выполнении перевозок экспортных грузов.

При выходе транспортного предприятия на международный рынок особое значение приобретает логистика. Проблема интеграции России в мирохозяйственные связи – это во многом проблема создания эффективных транспортно-логистических систем. Исследовано состояние логистической сети Беларуси и ее рейтинговое место в мировой логистической системе по данным Всемирного банка. Особенности логистической системы Беларуси рассмотрены по таким направлениям, как эффективность таможенного оформления, качество торговой и транспортной инфраструктуры, организация международных перевозок, возможность отслеживания прохождения грузов, своевременность поставок. По результатам анализа тенденций практики управления международной логистикой перевозки грузов, рассматриваются проблемы интеграции транспортно-логистических систем Беларуси и Российской Федерации в международные логистические системы и определяются некоторые перспективы их интеграции в международные транспортно-логистические системы [7].

Изменение влияющих факторов и тарифа

В условиях активного введения инноваций и инвестиций в логистическую транспортную систему за счет эффективного управления влияющими факторами имеется возможность управления тарифами на международные перевозки грузов. Наряду с трендовыми факторами, влияющими на тарифы логистики перевозок грузов, следует выделить технологические, влияющие на экономический механизм построения тарифных схем. Их условно можно разделить на три группы: вагонная составляющая, тяга, инфраструктура [8].

Важную роль при формировании логистики перевозок грузов с использованием нескольких видов транспорта на сверхбольшие расстояния (Беларусь – КНР) на начальном и конечном этапах их реализации важное влияние играют железнодорожные тарифы. Они включают также плату за: пробег груженых и порожних вагонов, локомотивов и другого подвижного оборудования на железнодорожном ходу общего парка, а также собственных (арендованных) вагонов с локомотивом национальных железных дорог; пользование ин-

фраструктурой национальных железных дорог при пробеге поездных формирований, состоящих из собственных (арендованных) локомотивов и вагонов; пользование инфраструктурой национальных железных дорог при пробеге своим ходом отдельных собственных (арендованных) локомотивов; пробег груженных и порожних вагонов, локомотивов и другого передвижного оборудования на железнодорожном ходу общего парка с собственным (арендованным) локомотивом [9].

Влияние вагонной составляющей на величину тарифа связано с расходами на ремонты грузовых вагонов, их техническое обслуживание. В современных перевозках из СНГ вагонная составляющая в тарифе составляет 45–50 %. Исследования показали, что она может быть существенно сокращена за счет использования инновационного подвижного состава, который требует более низких издержек на его техническую эксплуатацию [10]. Такой подвижной состав может использоваться и для обеспечения необходимым городов и агломераций [11–14]. Так расходы на ремонты вагонов быть существенно сокращены при увеличении межремонтного пробега в 1,5–2 раза за счет инновационной конструкции новых грузовых вагонов. При использовании таких вагонов доля вагонной составляющей может снижаться до 12–13 %. При этом следует рассматривать стоимость вагонной составляющей в конкретном поезде с учетом сроков эксплуатации вагонов. По результатам исследований, выполненных в БелГУТе при построении тарифа для железнодорожной составляющей (Беларусь – Мурманск/Архангельск), в которой составы сформированы из вагонов новой конструкции, вагонная составляющая в расходах на перевозку доведена до 11 %. При рассмотрении конечной части маршрута на территории КНР (Шанхай – потребители в КНР) использование железнодорожного транспорта предусматривает вовлечение парка вагонов китайских железных дорог со сроками эксплуатации до 20 лет, что составляет 15–17 % в структуре тарифа на перевозку.

Особенное внимание должно уделяться на управление фактором тяги. На маршрутах используется тепловозная тяга. Изменение конструкции локомотивов позволило снизить затраты топлива на тягу поезда с 77 до 31 кг на 10000 тонно-километров брутто. Кроме топлива на экономическую составляющую тяги оказывает влияние: изменение конструкции тяговых двигателей тепловоза, позволившее увеличить межремонтный цикл с двух до десяти лет, что позволило в пять раз сократить расхо-

ды, относимые на себестоимость поезда, ведомого новым локомотивом. При этом, в целях максимального сокращения расходов на тягу грузового поезда, использован локомотив с более дешевой финансовой составляющей – локомотив с асинхронными тяговыми двигателями, расход топлива зависит от продолжительности движения поезда (почасовой расход). Для данного поезда повышена скорость на всем протяжении маршрута с максимальным исключением промежуточных остановок. Для целей интегрированных маршрутов перевозок экспортных грузов показала высокую эффективность использование локомотивов совместного производства Беларуси, России и Китая. В условиях санкций со стороны ЕС, которые предусматривают исключение поставок запасных частей на ремонтные предприятия, это решение оказалось эффективным.

Использование железнодорожной инфраструктуры относится к наиболее дорогостоящему элементу железнодорожного тарифа на перевозку экспортных грузов (более 48,53 %). Необходимо отметить, что во многих государствах маршрута перевозки расходы за использование инфраструктуры для потребностей грузовых перевозок субсидируются из бюджета (КНР). Таким образом, эти государства косвенно поддерживает собственных перевозчиков, создавая им наиболее преимущественные условия. Это повлияло на тот факт, что существенно сократилось количество маршрутов грузовых перевозок, используемых железнодорожными администрациями СНГ для международных перевозок в последние годы. Грузы активно стали передаваться на другие виды транспорта.

С учетом того, что в большинстве стран железнодорожная инфраструктура используется для грузовых и пассажирских перевозок, есть необходимость пересмотра регламента отнесения расходов на грузовые перевозки. Проведены исследования влияния на износ пути грузовых поездов, ходовых частей грузовых вагонов различного года выпуска при выполнении логистики перевозок экспортных грузов. По результатам исследований отмечено, что на износ пути влияют масса вагона, его длина, скорость движения и др. Таким образом выполнено соответствующее отнесение расходов на конкретный логистический маршрут из общих расходов на перевозки грузов, выполненные на рассматриваемом направлении.

Все названные влияющие факторы на современном этапе организации международных железнодорожных грузовых перевозок объединяет современная логистика их выполне-

ния, которая может оказать сильное влияние на тарифную политику и привлечение грузов на железнодорожный транспорт.

При использовании современной логистики грузовых перевозок в международном сообщении появляется возможность управления тарифами в зависимости от качества перевозок, сервиса и условий. Международная перевозка массовых экспортных грузов на такие большие расстояния только железнодорожным транспортом является неэффективной. Следует отметить, что при такой перевозке требуется смена колесных пар (стык колеи 1520–1435 мм). При перевозке грузов в КНР с обеих сторон организуется стыковая перегрузка грузов с одновременным выполнением погранично-таможенных процедур.

Современные информационные технологии позволяют выделить вагонную составляющую из общего тарифа на международную перевозку. Это связано в первую очередь с различными условиями оплаты данной составляющей в различных государствах и величине относимых на нее расходов. В среднем ее величина в таких случаях колеблется в пределах 9–12 %.

Заключение

Учет влияющих факторов на формирование тарифа на логистику международных грузовых перевозок позволяет снизить уровень тарифа в 1,5–2 раза. Например, на маршрут перевозки грузов с использованием железнодорожного транспорта и морского по Северному морскому пути стал ниже чисто железнодорожного, что увеличило приток грузов из Беларуси и России в 2,5 раза на данном маршруте.

Анализ показал, что размер провозных платежей за логистику перевозки экспортных грузов в КНР грузов зависит от следующих факторов:

– вид отправки – груз может быть отправлен партией, равной контейнеру, вагону, железнодорожному составу;

– скорость перевозки – по железной дороге груз может перевозиться грузовой, большой или пассажирской скоростью. Вид скорости определяет, сколько километров в сутки должен проходить груз. В зависимости от категории скорости тариф выше в 1,5 раза. В грузовой логистике – скорость ниже, но стоимость ниже;

– расстояние перевозки – провозная плата может взиматься за расстояние по кратчайшему направлению, так называемое тарифное расстояние при перевозках грузов большой скоростью (контейнерные поезда) либо за дей-

ствительно пройденное расстояние в случае перевозки массовых грузов;

– тип подвижного состава – в котором осуществляется перевозка груза. По железной дороге груз может перевозиться в универсальных, специализированных или изотермических вагонах, в цистернах или на платформах. При использовании логистики с вовлечением нескольких видов транспорта для массовых грузов тариф на перевозку будет ниже;

– рассматривается также объем перевозимого груза в одной партии и возможное его соединение с грузами другой страны (России) для формирования партии груза на одно судно.

Литература

1. Михальченко, А. А. Исследование влияния элементов информационной логистики на эффективность интегральных схем перевозок грузов / А. А. Михальченко, А. В. Савченко // Вестник белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – Гомель. – 2019. – № 2 (39) – С. 24–29.

2. Шалболова, У. Ж. Особенности создания новой транспортно-логистической системы терминала / У. Ж. Шалболова, М. А. Елпанова, Д. С. Жуманов // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. ФБГОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет; Кызыл Ординский государственный университет им. Коркыт Ата. – 2014. – С. 337–345.

3. Буркацкий, М. А. Особенности логистического обеспечения международных перевозок грузов промышленных предприятий / М. А. Буркацкий, А. В. Селиванов // Менеджмент социальных и экономических систем. – 2018. № 1 (9). – С. 29–39.

4. Василёнок, В. Л. Организация интермодальных перевозок: международный и российский опыт / В. Л. Василёнок, В. В. Негреева, Я. В. Шевченко // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. – 2015. – № 4. – С. 77–88.

5. Wang, H. Optimisation design of railway cargo products based on game theory / H. Wang // Collect. of scient. papers of Beijing Jiaotong University. – 2019. № 4. – P. 71–76.

6. Современная экономика и ее информационное обеспечение: состояние, проблемы и перспективы развития / Сборник статей междунар. конф. Международная логистика, интермодальные перевозки, контейнеры. – Краснодар. – 2019. – 216 с.

7. Проблемы интеграции России в международные транспортно-логистические системы

/ В. Н. Круглов [и др.] // Сборник статей Калужского государственного университета имени К. Э. Циолковского. – Калуга, 2020. – С. 216–221.

8. Качесова, И. Н. Особенности формирования тарифов на грузовые перевозки железнодорожным транспортом / И. Н. Качесова // Аллея науки. – Новосибирск, 2018. – Т. 4. – № 11 (27). – С. 495–499.

9. Ding, X. Research on Service Quality Optimisation of Cargo Terminal Based on Cargo Satisfaction / X. Ding // Collect. of scient. papers of China Railway Science Research Institute. – 2020. – № 6. – P. 84–78.

10. Chen, H. The driving effect of labour factor input on regional logistics development—Research on the northwest of the Silk Road Economic Belt from the perspective of time and space / H. Chen, J. Wei. Lanzhou Journal. – Beijing, 2015. – № 12. – P. 117–124.

11. Капский, Д. В. Городская логистика – стратегический элемент устойчивого развития урбанизированных территорий / Д. В. Капский // Проблемы международной транспортной политики: Материалы международной конференции, Москва, 27 марта 2022 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – С. 49–54.

12. Капский, Д. В. План устойчивой городской логистики симбиотических агломераций и развитие транспортных систем / Д. В. Кап-

ский, С. В. Богданович // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. В 2-х частях, Гомель, 24–25 ноября 2022 года / под ред. Ю. И. Кулаженко. Том Часть 2. – Гомель: Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», 2022. – С. 111–113.

13. Капский, Д. В. Перспективы развития городской логистики и транспортных систем / Д. В. Капский, С. В. Богданович, С. В. Скирковский // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. В 2-х частях, Гомель, 24–25 ноября 2022 года / под ред. Ю. И. Кулаженко. Том Часть 2. – Гомель: Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», 2022. – С. 119–121.

14. 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» (с международным участием) / под ред. Е. Е. Витвицкого. – Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – С. 37–43.

UDK 656.03

MIKHALCHENKO Anatoly A., Ph. D., Associate Professor,
Associate Professor¹
E-mail: mihh-19@mail.ru

WU HAILONG²
E-mail: hailong_68@126.com

¹Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

²Guangzhou Professional College of Engineering and Technology, China, Guangzhou

Received 21.07.2023

STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE TRANSPORT LOGISTICS OF CARGO TRANSPORTATION

In the article, the results of studies carried out during the formation logistics schemes for international transportation of export cargoes under the restrictions of the western direction for the Republic of Belarus. Research has established that the amount of freight charges for the logistics of transporting export

cargo to the PRC depends on the type of shipment (the cargo can be sent in a batch equal to a container, wagon, or train); transportation speed (by rail, cargo can be transported at freight, high or passenger speed), transportation distance (carriage fees can be charged for the distance in the shortest direction, the so-called tariff distance when transporting goods at high speed (container trains) or for the actual distance traveled in the case of transportation of bulk cargo), type of rolling stock (by rail, cargo can be transported in universal, specialized or isothermal wagons, in tanks or on platforms. When using logistics involving several modes of transport for bulk cargo, the transportation tariff will be below) and the volume of cargo transported in one shipment (taking into account its connection with cargo from another country (for example, the Russian Federation) to form a shipment of cargo per vessel). The influence of economic and technological factors on the level of tariffs for the transportation of export cargoes using Russian seaports in the logistics scheme has been studied. Formalized research methods were used to select combinations of parameters that affect the level of tariffs and the eligibility of attributing costs in the formation of logistics schemes.

Keywords: *transportation process, export cargo, transport, transport logistics, intermodality, multimodality, international transport, route, transport corridors, logistics network, quality of service, tariff, research methods, target task, practical result.*

Reference

1. Mikhalchenko, A. A. Study of the influence of information logistics elements on the efficiency of integrated circuits for cargo transportation / A. A. Mikhalchenko, A. V. Savchenko // Bulletin of the Belarusian State University of Transport: science and transport. – Gomel. – 2019. – № 2 (39) – pp. 24–29.
2. Shalbolova, U. Zh. Features of the creation of a new transport and logistics system of the terminal / U. Zh. Shalbolova, M. A. Elpanova, D. S. Zhumanov // Collection of scientific works based on materials of the International Scientific practical conference. FBGOU VPO Stavropol State Agricultural University; Kyzyl Orda State University named after. Korkyt Ata. – 2014. – pp. 337–345.
3. Burkatsky, M. A. Features of logistics support for international cargo transportation of industrial enterprises / M. A. Burkatsky, A. V. Selivanov // Management of social and economic systems. – 2018. No. 1 (9). – pp. 29–39.
4. Vasilenok, V. L. Organization of intermodal transportation: international and Russian experience / V. L. Vasilenok, V. V. Negreeva, Y. V. Shevchenko // Scientific journal of NRU ITMO. Series: Economics and environmental management. – 2015. – № 4. – P. 77–88.
5. Wang, H. Optimization design of railway cargo products based on game theory / H. Wang // Collection. of scient. papers of Beijing Jiaotong University. – 2019. – № 4. – P. 71–76.
6. Modern economy and its information support: state, problems and development prospects / Collection of international articles. conf. International logistics, intermodal transport, containers. – Krasnodar. – 2019. – 216 p.
7. Problems of Russia's integration into international transport and logistics systems / V. N. Kruglov [et al.] // Collection of articles of the Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovsky. – Kaluga, 2020. – pp. 216–221.
8. Kachesova, I. N. Features of the formation of tariffs for freight transportation by rail / I. N. Kachesova // Alley of Science. – Novosibirsk, 2018. – T. 4. – № 11 (27). – pp. 495–499.
9. Ding, X. Research on Service Quality Optimization of Cargo Terminal Based on Cargo Satisfaction / X. Ding // Collection. of scient. papers of China Railway Science Research Institute. – 2020. – № 6. – P. 84–78.
10. Chen, H. The driving effect of labor factor input on regional logistics development-Research on the northwest of the Silk Road Economic Belt from the perspective of time and space / N. Chen, J. Wei. Lanzhou Journal. – Beijing, 2015. – № 12. – P. 117–124.
11. Kapski, D. V. Urban logistics – a strategic element of sustainable development of urbanized territories / D. V. Kapski // Problems of international transport policy: Proceedings of the international conference, Moscow, March 27, 2022. – Moscow: Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI), 2022. – P. 49–54.
12. Kapski, D. V. Plan for sustainable urban logistics of symbiotic agglomerations and the development of transport systems / D. V. Kapski, S. V. Bogdanovich // Problems of transport safety: Materials of the XII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 160th anniversary of the Belarusian Railway. In 2 parts, Gomel, November 24–25, 2022 / ed. Yu. I. Kulazhenko. Volume Part 2. – Gomel: Educational Institution «Belarusian State University of Transport», 2022. – P. 111–113.
13. Kapski, D. V. Prospects for the development of urban logistics and transport systems /

D. V. Kapski, S. V. Bogdanovich, S. V. Skirkovsky // Problems of transport safety: Materials of the XII International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 160th anniversary of the Belarusian Railway. In 2 parts, Gomel, November 24–25, 2022 / ed. Yu. I. Kulazhenko. Volume Part 2. – Gomel: Educational Institution «Belarusian State University of Transport», 2022. – pp. 119–121.

14. Kapski, D. V. Problems of urban logistics of symbiotic cities / D. V. Kapski // Road transportation and transport logistics: theory and practice: collection of scientific works of the department «Organization of transportation and management of transport» (with international participation) / ed. E. E. Vitvitsky. – Omsk: Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), 2021. – pp. 37–43.

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 21. 07.2023

ПРИВЕДЕНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА (НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ) ПО ВАРИАЦИИ

Повседневная практика проектирования/реорганизации управления движением на регулируемом пересечении типично опирается на использование той или иной модели транспортного спроса. При выборе такой модели как правило руководствуются соображениями оптимального соотношения между сложностью модели и существенностью тех эффектов, которые с ее помощью могут быть учтены. Однако в некоторых ситуациях исследователи предпочитают брать упрощенные модели спроса даже в том случае, когда заведомо известно, что ее использование приведет к существенным отклонениям в результатах. Одним из таких примеров является задача выбора расчетной интенсивности транспортного спроса для проектирования/реорганизации светофорного регулирования. Типично здесь предпочитают опираться только на величину матожидания интенсивности спроса, в лучшем случае заведомо завышая ее для расчетов с помощью некоторого, как правило, довольно умозрительным образом выбранного способа. Однако, как видится, такая практика отсутствия должного внимания к специфике вариации транспортного спроса, не может рассматриваться как удовлетворительная по причине того, что, во-первых, наиболее типичными в настоящее время являются ситуации с высокой, близкой к максимально возможной пропускной способности пересечения, интенсивностью транспортного спроса, а значит, предположения о несущественности для уровня обслуживания специфики вариативности транспортного спроса перестают быть обоснованными. А во-вторых, типичное для городов близкое расположение регулируемых пересечений с разной длительностью циклов регулирования ведет к росту колебаний транспортного спроса, а значит, делает существенным их влияние на конечные результаты расчетов. Для решения этой проблемы без существенного усложнения существующих подходов и методик в данной работе предлагается, по аналогии с уже известными процедурами приведения транспортных потоков по различным характеристикам, введение естественного понятия приведения транспортного спроса по вариации. Также предлагается и конкретный вариант проведения процедуры такого приведения.

Ключевые слова: регулируемое пересечение, неравномерность транспортного спроса, математическое моделирование транспортного спроса, индекс дисперсии.

Введение

Математическое моделирование работы регулируемого пересечения с необходимостью предполагает наличие той или иной модели транспортного спроса. Существует большое многообразие таких моделей [1–8] – от максимально общих, пытающихся в полной мере учесть специфику случайного характера спроса (и строящихся на основе общих моделей случайных процессов) до более специфических, с упрощенным описанием стохастического поведения (типично на основе моделей потоков случайных событий, таких как, например, пуассоновские) вплоть до полного его игнорирования как в модели равномерного спроса.

При выборе той или иной модели типично руководствуются соображениями оптимального соотношения между сложностью модели и существенностью (для цели исследования) тех эффектов, которые с ее помощью могут быть учтены. Однако зачастую можно наблюдать ситуацию, когда исследователи предпочитают брать упрощенные модели спроса даже в том случае, когда заведомо известно, что ее использование приведет к существенным отклонениям в результатах. Одним из таких ярких примеров является задача выбора расчетной интенсивности транспортного спроса для проектирования/реорганизации светофорного регулирования (на некоторый стационарный по транспортной ситуации период времени в течение суток). Типично здесь предпочитают опираться на величину математического ожидания интенсивности спроса, в лучшем случае заведомо завышая ее для расчетов с помощью некоторого довольно умозрительным образом выбранного способа – так, во многих руководствах наподобие [9; 10] предлагается проводить соответствующую процедуру путем умножения матожидания спроса на коэффициент, характеризующий отношение пиковой (максимальной) интенсивности к средней, что, очевидно, нельзя признать удачным, потому что таким образом может происходить значительное необоснованное завышение этой интенсивности. Еще одним встречающимся подходом [11] является предложение завязать интенсивность до верхней границы области, в границах которой происходит «большинство» случайных колебаний интенсивности. Однако обоснований, в каких случаях это принимать за «большинство», не дано. Вместо этого предлагаются «рецептурные» значения.

Причина распространенности такой ситуации, вероятно, кроется в том, что знания величины матожидания интенсивности спроса достаточно, чтобы адекватно оценить наиболее

критичный для работы регулируемого пересечения показатель, коим выступает коэффициент загрузки движением (отношение матожидания транспортного спроса к пропускной способности). Кроме того, при не слишком высоких коэффициентах загрузок формулы, оценивающие такой распространенный показатель эффективности работы пересечения как задержки, типично становятся менее чувствительными к специфике вариативности транспортного спроса, а значит, опять-таки можно ожидать, что основной величиной, определяющей уровень обслуживания, будет коэффициент загрузки; как итог – специфику вариативности учитывать оказывается не обязательно, что обычно в итоге и выбирается, чтобы упростить расчеты и анализ.

Однако, как видится, такая практика не может рассматриваться как удовлетворительная по причине того, что, во-первых, наиболее типичными в настоящее время являются ситуации с высокой, близкой к максимально возможной пропускной способности, интенсивностью транспортного спроса, а значит, предположения о несущественности специфики вариативности транспортного спроса для уровня обслуживания перестают быть обоснованными. А во-вторых, типичное для городов близкое расположение регулируемых пересечений с разной длительностью циклов регулирования ведет к росту колебаний транспортного спроса, а значит, делает существенным их влияние на конечные результаты расчетов.

С одной стороны, для решения данной проблемы достаточно было бы начать напрямую использовать в расчетах величины, характеризующие специфику вариативности спроса (например, коэффициент дисперсии), однако с другой – это усложнило бы вычисления и анализ, плюс к тому шло бы в разрез с устоявшимися подходами и методиками. Данная статья – попытка найти компромисс между этими сторонами, а именно, предлагается по аналогии с учетом специфики транспортных средств путем процедуры приведения к легковому автомобилю проделать то же самое с транспортным спросом – свести его по характеристикам вариативности к некоторому «стандартному».

Процедура приведения по вариации

В общем случае под *приведением транспортной ситуации по вариации транспортного спроса* предлагается понимать выбор такого варианта транспортного спроса, при котором специфика случайного характера реального (фактического) спроса была бы несущественной в рассматриваемой ситуации исследова-

ния. Это вовсе не означает, что спрос при этом считается полностью неслучайным. Это означает, что нужные расчеты могут быть проведены уже на основе информации, ограниченной только данными о неслучайной составляющей транспортного спроса. В таком случае единственной специфической характеристикой ситуации остается только характеристика неслучайной составляющей спроса, а именно, некая «средняя» интенсивность.

Для выбора соответствующей интенсивности имеет смысл использовать следующие соображения:

1) поскольку необходимо избавиться от специфики случайных колебаний спроса, необходимо реальную ситуацию свести к некоторой эквивалентной «эталонной» с точки зрения характера случайных колебаний ситуации;

2) поскольку в случае, когда речь идет о регулируемых пересечениях, в первую очередь внимание уделяется отсутствию критических значений величин остаточных очередей (например, ситуация, когда к началу нового цикла регулирования от предыдущего остается очередь, превышающая двойную цикловую пропускную способность, воспринимается водителями уже как заторовая), то имеет смысл в качестве соответствующих эквивалентных рассматривать ситуации, расчеты по которым давали бы такие же или по крайней мере не заниженные прогнозные показатели для остаточных очередей, какие давали бы расчеты и по исходной ситуации;

3) типичной «эталонной» ситуацией является ситуация, при которой дисперсия случайных колебаний равна величине матожидания, или, что то же самое, при которой *коэффициент дисперсии* колебаний (как отношение дисперсии к матожиданию) равен единице (именно такое соотношение характерно для широко используемого в расчетах пуассоновского спроса).

С учетом этих соображений тогда задача выбора соответствующей эквивалентной ситуации будет выглядеть следующим образом.

Пусть

– T^o – опорный период времени для планируемого исследования (минимальное значение периода, меньше которого в данной ситуации исследования не имеет смысла рассматривать, поскольку колебания спроса на меньших промежутках несущественны для целей исследования);

– Q_{T^o} – объем транспортного спроса за промежуток T^o со стороны участников движе-

ния определенного типа на прохождение регулируемого пересечения по определенному геометрическому направлению движения.

Если рассматривать Q_{T^o} на разных периодах как независимые случайные величины, то при не слишком малых интенсивностях спроса эти величины можно рассматривать как распределенные по нормальному закону с матожиданием $M Q_{T^o}$ и среднеквадратичным отклонением $\sigma(Q_{T^o})$.

Тогда с учетом соображений 1)–3) задачу можно сформулировать в следующем виде:

– заменить исходные случайные величины Q_{T^o} на некоторые $Q_{T^o}^3$ так, чтобы:

– величины остаточных очередей, рассчитанные по $Q_{T^o}^3$, были не меньше таковых, рассчитанных по Q_{T^o} ;

– индекс дисперсии $\sigma^2(Q_{T^o}^3) / M Q_{T^o}^3$ был равен единице (либо был меньше).

В качестве одного из возможных вариантов решения этой задачи имеет смысл рассматривать введение случайных величин $Q_{T^o}^3$, имеющих распределение вероятностей, представленное на рисунке 1 (закрашено сплошным цветом).

Действительно, во-первых, поскольку в этом случае матожидание m' такого распределения оказывается не ниже матожидания m исходного, то, как минимум, проектная пропускная способность, подготавливаемая по m' , заведомо не будет занижена. А во-вторых, поскольку распределение вероятностей колебаний, превосходящих матожидание m' у приведенного и исходного спроса совпадают, это значит, что проектная оценка остаточных очередей по приведенному спросу также не будет занижена.

Непосредственное выражение для матожидания m' соответствующего распределения может быть найдено из условия $\sigma'^2 / m' = 1$ с учетом того, что в силу симметрии распределения соответствующая дисперсия может быть вычислена с помощью выражения

$$\sigma'^2 = 2 \int_{m'}^{+\infty} (Q - m')^2 \cdot p_{m,\sigma}(Q) dQ.$$

Если для удобства положить $m' = m + \gamma \cdot \sigma$, $\gamma \geq 0$, то соответствующее условие может быть представлено в виде следующего ком-

пактного уравнения относительно неизвестного γ :

$$(1 + \gamma^2) \cdot (1 - \Phi(\gamma)) - \frac{e^{-\frac{\gamma^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \cdot \gamma = \frac{1}{2 \cdot VMR}, \quad (1)$$

где Φ – функция распределения стандартного нормального закона,

VMR – индекс дисперсии исходного спроса.

График зависимости решения от индекса дисперсии представлен на рисунке 2.

Приближенное аналитическое решение соответствующего уравнения, достаточно хорошо согласующееся с решением, представленном на графике, можно получить, если аппроксимировать левую часть уравнения многочленом Тейлора третьей степени, после чего

решить получившееся кубическое уравнение. Результатом этого будет следующее выражение:

$$\gamma \approx \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\sqrt{\pi + \frac{4 - \pi}{A}} - A \right), \quad \text{где}$$

$$A = \left(B + \sqrt{B^2 + (4 - \pi)^3} \right)^{1/3}, \quad (2)$$

$$B = \sqrt{\pi} \left(\frac{3}{VMR} - (\pi - 3) \right).$$

Примечание. При расчете по приближенным формулам (2) не исключены ситуации, когда результирующее значение γ будет отрицательным. Для исключения таких случаев имеет смысл делать постобработку результата расчета по схеме $\gamma \rightarrow \max\{\gamma, 0\}$.

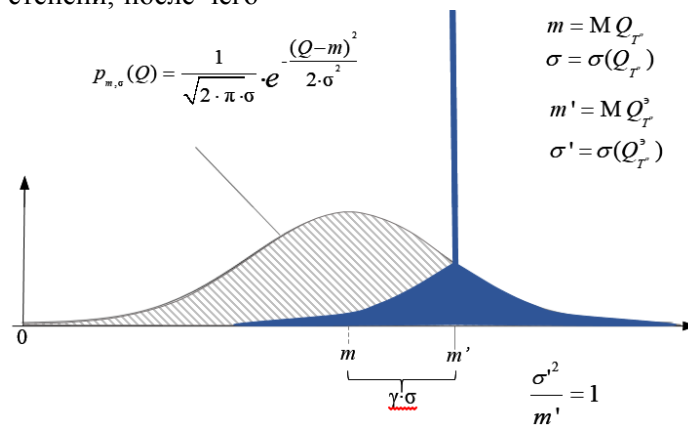


Рисунок 1 – Распределения вероятностей величин Q_{T^0} исходного спроса (заштриховано)

и Q_{T^3} приведенного (закрашено сплошным)

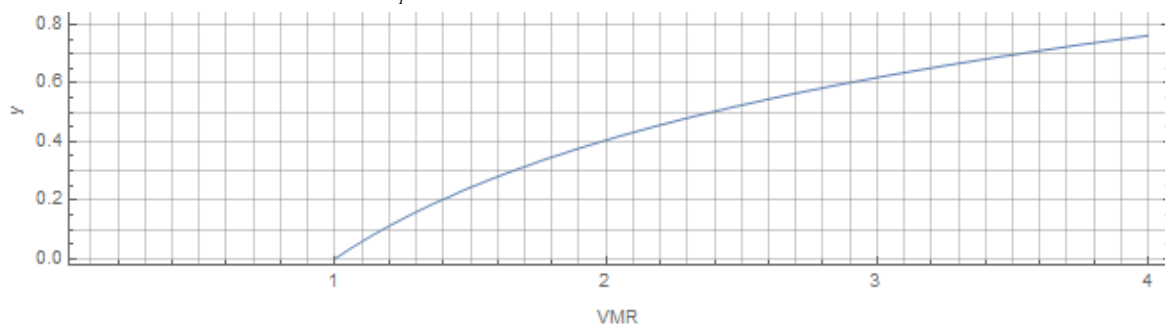


Рисунок 2 – График зависимости решения уравнения (1) от индекса дисперсии VMR

С учетом сказанного и того, что имеют место быть очевидные соотношения $M Q_{T^0} = M q \cdot T^0$, $\sigma(Q_{T^0}) = \sqrt{VMR \cdot M q \cdot T^0}$, где $M q$ – матожидание фактической интенсивности спроса, окончательно получаем выражение для приведенных величин:

$$M q^3 = M q + \gamma \cdot \sqrt{VMR \cdot \frac{M q}{T^0}},$$

$$VMR^3 = 1,$$

где γ выбирается как решение уравнения (1) (в качестве которого можно использовать приближение (2)).

Полезно отметить, что в ситуации, когда характер генерации транспортного спроса таков, что объем спроса Q_T растет пропорционально величине промежутка T (что обычно естественно ожидать от транспортных потоков, согласно теории (см., например, [12]), такую ситуацию, действительно, можно во многих случаях ожидать для промежутков с

$MQ_T \gg 1$), то поскольку тогда (как следует из свойств матожидания и дисперсии) m_{Q_T} , и D_{Q_T} растут пропорционально T , отсюда вытекает, что m_q и VMR не будут зависеть от величины этого промежутка. Таким образом, в этом случае появляется дополнительная свобода в выборе опорного промежутка.

Заключение

Таким образом, как показывают полученные в данной работе результаты, в общем случае удастся ввести содержательное понятие «приведения транспортного спроса по вариации» и получить достаточно простые аналитические выражения для непосредственного проведения соответствующей процедуры.

Литература

1. ALFA, ATTAHIRU SULE, and MARCEL F. NEUTS. «Modelling Vehicular Traffic Using the Discrete Time Markovian Arrival Process» *Transportation Science* 29, no. 2 (1995). – P. 109–17. <http://www.jstor.org/stable/25768678>.
2. Buckley DJ (1968) A semi-Poisson model of trac flow. *Transportation Science* 2(2). – P. 107–133.
3. Cowan, R. J. (1975). Useful headway models. *Transp Res* 9. – P. 371–375.
4. Иносэ, Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада; пер. с англ. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.

5. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
6. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, 1966. – 280 с.
7. Буслаев А. П., Новиков А. В., Приходько В. М. и др. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения. – М.: Мир, 2003. – 368 с.
8. Kerner BS, Rehborn H (1996) Experimental features and characteristics of trac jams. *Physical Review E: Statistical, nonlinear and soft matter physics* 53. – P. 1297– 1300.
9. Highway Capacity Manual 5th Edition (HCM 2010) Vol 2 (<https://ebin.pub/highway-capacity-manual-5th-edition-hcm-2010-vol-2-2-9780309160773.html>).
10. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения на регулируемых пересечениях. – М. 2017. – 91 с.
11. Врубель Ю. А., Капский Д. В., Кот Е.Н., Определение потерь в дорожном движении. – Мн. 2006. – 242 с.
12. Rajdl K, Lansky P, Kostal L. Fano Factor: A Potentially Useful Information. *Front Comput Neurosci.* 2020 Nov 20;14:569049. doi: 10.3389/fncom.2020.569049. PMID: 33328945; PMCID: PMC7718036.

UDK 656

SARAZHINSKY Denis S., Ph.D. in Eng., Ass. Prof.,
Associate Profesor
E-mail: sarazhinsky@mail.ru

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 21. 07.2023

REDUCING TRAFFIC DEMAND BY VARIATION (AT SIGNALIZED INTERSECTION)

The day-to-day practice of designing/reorganizing traffic management at a controlled intersection typically relies on the use of a traffic demand model. The selection of such a model is usually guided by considerations of the optimal balance between the complexity of the model and the significance of the effects that can be accounted for. However, in some situations, researchers prefer to use simplified demand models even when it is known that its use will lead to significant deviations in the results. One of such examples is the problem of selecting a design value of traffic demand intensity for designing/redesigning of traffic light control. Typically, here one prefers to rely only on the expectation value of the demand intensity, at best knowingly overestimating it for calculations by means of some, as a rule, rather speculatively

chosen method. However, it seems that this practice of not paying due attention to the specifics of transport demand variation cannot be considered as satisfactory because, firstly, the most typical at the present time situations are the ones with high, close to the maximum possible capacity of the intersection, intensity of transport demand, which means that the assumptions about the insignificance of the specifics of transport demand variation for the level of service are no longer justified. And secondly, the typical for cities close spaced locations of signalized intersections with different lengths of signal cycles leads to the growth of transport demand fluctuations, and hence makes their influence on the final results of calculations significant. In order to solve this problem without significantly complicating the existing approaches and techniques, this paper proposes, by analogy with the already known procedures of reducing traffic flows by different characteristics, the introduction of a natural concept of reducing transport demand by variation. A specific variant of the procedure of such an adjustment is also proposed.

Keywords: *signalized intersection, nonuniform traffic demand, mathematical modeling of traffic demand, index of dispersion.*

References

1. ALFA, ATTAHIRU SULE, and MARCEL F. NEUTS. "Modelling Vehicular Traffic Using the Discrete Time Markovian Arrival Process." *Transportation Science* 29, no. 2 (1995): 109–17. <http://www.jstor.org/stable/25768678>.
2. Buckley DJ (1968) A semi-Poisson model of trac flow. *Transportation Science* 2(2):107–133.
3. Cowan, R. J. (1975). Useful headway models. *Transp Res* 9. – P. 371–375.
4. Inose H. Road traffic control. Authors: Inose, H; Hamada, T; Posner, E C. – Moscow: Transport, 1983. – 248 p (in Russian)
5. Drew D. Traffic Flow Theory and Control – Moscow: Transport, 1972. – 424 p. (in Russian).
6. Haight A. F. Mathematical Theories Of Traffic Flow – Moscow: Mir, 1966. – 280 p (in Russian)
7. Buslaev A. P., Novikov A. V., Prikhodko V. M. et al. Probabilistic and simulation approaches to optimization of road traffic / M.: Mir, 2003. – 368 p. (in Russian).
8. Kerner BS, Rehborn H (1996) Experimental features and characteristics of trac jams. *Physical Review E: Statistical, nonlinear and soft matter physics* 53. – P. 1297–1300.
9. Highway Capacity Manual 5th Edition (HCM 2010) Vol 2 (<https://ebin.pub/highway-capacity-manual-5th-edition-hcm-2010-vol-2-2-9780309160773.html>).
10. Methodological Recommendations on the development and implementation of measures to organize road traffic at regulated intersections. – M. 2017. – 91 p. (in Russian)
11. Vrubel Y. A., Kapsky D. V., E. N. Kot, Determination of losses in road traffic, Mn. 2006. – 242 p. (in Russian)
12. Rajdl K, Lansky P, Kostal L. Fano Factor: A Potentially Useful Information. *Front Comput Neurosci.* 2020 Nov 20;14:569049. doi: 10.3389/fncom.2020.569049. PMID: 33328945; PMCID: PMC7718036.

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 15.07.2023

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМОАППАРАТОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СНИЖЕНИЕ УСИЛИЯ НА ОРГАНАХ УПРАВЛЕНИЯ

Современные тенденции развития автотракторостроения предполагают внедрение в создаваемые объекты элементов, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики изделия. Если рассматривать элементы управления узлами, агрегатами и системами машин, то основными функциональными характеристиками являются эргономические (доступность, усилие на органах управления и др.), а также долговечность, хорошее следящее действие и стабильность работы,

Если рассматривать тормозную систему трактора, то, учитывая требования нормативных документов об использовании на прицепном составе только пневматического привода тормозных механизмов, целесообразным представляется применение пневматической тормозной системы и на самом тягаче, что позволит облегчить согласование торможения звеньев тракторного поезда [Тракторные поезда]. Кроме того, интерес представляет использование пневматических усилителей в различных системах и приводах.

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований перспективных конструкций пневматического усилителя сцепления тракторов семейства «Беларус» и трехсекционного пневматического тормозного крана управления бортами, предназначенных для универсально-пропашных тракторов кл. 1,4–2,0. Представлены программа и методика проведения экспериментальных исследований, применяемая измерительно-регистрирующая аппаратура, схемы испытательных установок для проведения лабораторных испытаний, места установки датчиков.

Проведенные лабораторные исследования позволили получить статические и динамические характеристики испытываемых пневмоаппаратов, позволившие оценить их следящее действие и быстродействие. При выполнении эксперимента изучалось влияние некоторых конструктивных и эксплуатационных факторов на выходные параметры и стабильность работы исследуемых узлов. По результатам работы были предложены рекомендации по совершенствованию конструкции рассматриваемых агрегатов, а также их рациональной установке на тракторе и подключению к его пневматической системе.

Ключевые слова: пневмоусилитель, следящее действие, быстродействие, тормозной кран, давление, усилие, работоспособность, синхронность срабатывания, статическая характеристика, динамическая характеристика, датчики.

Введение

Широкое применение и совершенствование в настоящее время различного рода систем управления, автоматики, а также средств, обеспечивающих улучшение условий труда оператора транспортных средств за счет сни-

жения 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 и гидравлических систем, обладающих высоким КПД, точностью регулирования давления в исполнительных механизмах, хорошим следящим действием и безотказностью в работе [1; 2].

Применение пневматических систем в качестве систем управления и их составных элементов на транспортных средствах обусловлено большим количеством преимуществ данного типа привода. На колесных тракторах «Беларус» также имеет место применение пневматического привода, в частности, для привода тормозной системы прицепного состава, с/х машин и орудий, а также выполнения некоторых технологических операций. С точки зрения расширения функционального использования пневмопривода на тракторах целесообразно использовать пневмоагрегаты и для решения других задач [3; 4].

Объектами исследования в представляемой статье являются: пневмоусилитель управления сцеплением (далее ПУ) универсально-пропашных тракторов кл. 1,4–2,0, отличительная особенность которого – наличие подвижного седла клапана, выполняющего роль следящего элемента, и тормозной кран управления бортами (далее ТК) тракторов кл. 1,4–2,0, имеющий две секции прямого действия для управления тормозной системой тягача и секцию обратного действия управления тормозной системой прицепа [5].

Целью проведения исследований ПУ и ТК являлось [2; 7]:

- оценка выходных параметров объектов и их соответствие техническим условиям;
- определение качества следящего действия испытываемых узлов;
- оценка их быстродействия;
- определение влияния на выходке характеристики ПУ темпа нажатия на педаль сцепления и усилия отжимных пружин сцепления;
- определение характеристик узлов при повторно-кратковременных воздействиях на органы управления;
- определение работоспособности узлов при снижении давления в системе.

Экспериментальное исследование пневмоаппаратов

В процессе проведения лабораторных испытаний ПУ сцепления регистрировались следующие параметры:

- 1) давление в управляющей полости ПУ;
- 2) давление на входе в ПУ;
- 3) ход управляющего штока;
- 4) ход силового штока;
- 5) усилие на управляющем штоке;

6) усилие на силовом штоке.

При исследовании ТК управления бортами регистрировались:

- 1) давление на входах секций;
- 2) давление на выходах секций;
- 3) усилие на тормозных педалях;
- 4) ход (угол поворота) тормозных педалей.

Регистрация измеряемых параметров осуществлялась визуально по показаниям соответствующих измерительных приборов, а также путем фиксации электрических сигналов с установленных датчиков на записывающее устройство [6].

Для регистрации давлений в полостях испытываемых узлов использовались потенциометрические датчики давления П-10 и манометры с пределами измерений 0–1,6 МПа.

Перемещения штоков ПУ и педалей ТК регистрировались датчиками угловых перемещений Ш-615А.

Для замера усилий на штоках ПУ использовались динамометры растяжения, а для определения усилия на тормозных педалях – динамометр сжатия.

Перед проведением испытаний все датчики были трехкратно протарированы и построены их тарировочные характеристики [6].

Методика проведения испытаний

При проведении экспериментальных исследований ПУ и ТК с установленными на них датчиками монтировались на стенд «Пневмотест» (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид стенда «Пневмотест»

Схема установки и подключения к пневмосистеме ПУ представлена на рисунке 2.

Лабораторная установка включает ПУ 1, в управляющей 2 и силовой 3 полостях которого установлены датчики 4 и 5 давления. На стенке стенда установлены датчики 6 и 7 угловых перемещений, связанные через рычажную систему соответственно с силовым 8 и управ-

ляющим 9 штоками. С управляющим штоком 9 соединен динамометр 10 растяжения, позволяющий определять усилие, затрачиваемое на привод ПУ сцепления. Усилие отжимных пружин сцепления имитируется пневматиче-

ским цилиндром 11, рабочая полость 12 которого соединена через регулируемый редукционный клапан 13 с ресивером.

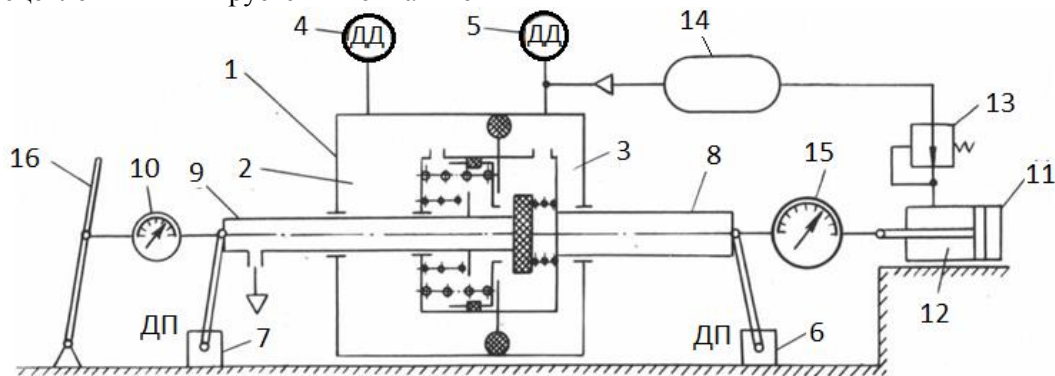


Рисунок 2 – Испытательная установка для лабораторных исследований ПУ

Шток пневмоцилиндра через динамометр 15 растяжения связан с силовым штоком 8. Силовая полость 3 ПУ связана с ресивером 14. Редукционный клапан 13 позволяет регулировать давление в полости 12 пневмоцилиндра 11 и тем самым варьировать значениями силы сопротивления на силовом штоке ПУ.

Управляющий шток 9 через динамометр 10 связан с рычагом 16, посредством которого при проведении испытаний осуществляется управление ПУ.

Схема установки датчиков при испытаниях ТК представлена на рисунке 3. На выходах секций 1 и 2 управления бортами, которые связаны с тормозными камерами 9 и 10, установлены датчики 4 и 5 давления. Выход секции 3 обратного действия соединен с воздухо-распределителем 11 прицепа и в нем установлен датчик 6 давления. Перемещение педалей 7 и 8 управления ТК регистрируется датчиком 12 перемещения, установленным на плите крана и связанным посредством рычага с педалями. С целью контроля давления в системе на выходе из ресивера установлен датчик 13 давления.

пись на регистрирующее устройство ходов управляющего и силового штоков, а также величины давления в управляющей полости ПУ и перемещения тормозных педалей и давлений на выходах секций тормозного крана.

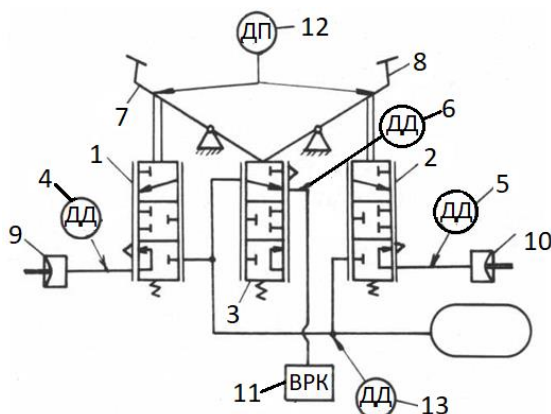


Рисунок 3 – Схема установки датчиков при испытаниях ТК управления бортами

Перед проведением испытаний ТК был отрегулирован на одновременное начало подачи сжатого воздуха бортовыми секциями.

Оценка выходных параметров испытываемых узлов (усилий на органах управления, их ходов) осуществлялась визуально по показаниям измерительных приборов и медленному перемещению органов управления [8].

Для определения качества следящего действия были сняты статические характеристики узлов. При этом производилось ступенчатое перемещение управляющего элемента с выдержкой по времени на каждой ступени и за-

Для оценки быстродействия узлов осуществлялась регистрация параметров при перемещении управляющего штока ПУ за 0,15–0,3 с и педалей ТК за 0,1–0,15 с. Усилие на силовом штоке при этом регулировалось с помощью редуктора давления и было равно 250 Н, 500 Н, 1 кН, 2 кН [8].

Характеристики ПУ и ТК управления бортами при повторно-кратковременных воздействиях определялась следующим образом. Включалось регистрирующее устройство и осуществлялось циклическое перемещение управляющего штока (тормозных педалей) с выдержкой по времени в выдвинутом и исходном положениях. Число циклов было выбрано равным 5, после чего регистрирующий прибор выключался.

Обработка результатов испытаний осуществлялась методом ординат согласно тарировочным характеристикам применявшихся датчиков с применением методов корреляционно-регрессионного анализа [9].

Результаты испытаний

В результате экспериментальных исследований получены следующие выходные характеристики ПУ:

1. Полный ход управляющего штока – 32 мм.
2. Полный ход силового штока – 30 мм.
3. Усилие, затрачиваемое на перемещение управляющего штока – 128 Н.
4. Усилие, развиваемое силовым штоком при давлении в пневмосистеме 0,7 МПа – 3,2 кН.

Кроме того, отмечено плавное без заеданий перемещение управляющего и силового штоков и высокая герметичность подвижных соединений ПУ, которая проверялась согласно ГОСТ 4364-81 [10].

Качество следящего действия оценивалось по статическим характеристикам, которые приведены на рисунке 4.

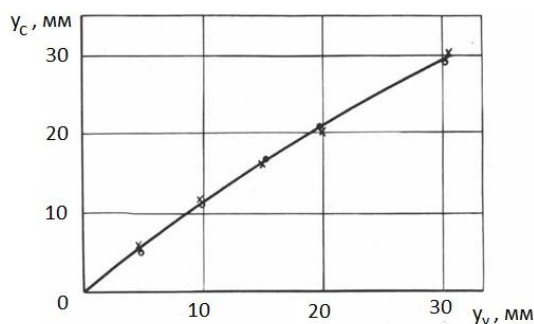


Рисунок 4 – Статическая характеристика ПУ

Как видно из графиков, ПУ обладает хорошим следящим действием во всем диапазоне перемещения управляющего штока, так как имеет место лишь незначительная нелинейность статической характеристики. Зависимости, представленные на рисунке 5, позволяют определить падение давления в управляющей полости пневмоусилителя и характер его изменения при различных значениях начального усилия па силовом штоке. Это дает возможность оценить расход сжатого воздуха при работе ПУ.

Как показывает анализ динамических характеристик (рисунок 6), объект испытаний обладает высоким быстродействием, т. е. практически отсутствует запаздывание в перемещении силового и управляющего штоков. Следует отметить, что имеют место высокочастотные колебания давления в управляющей

полости при резком отпускании управляющего штока, что имеет место при «броске» педали сцепления.

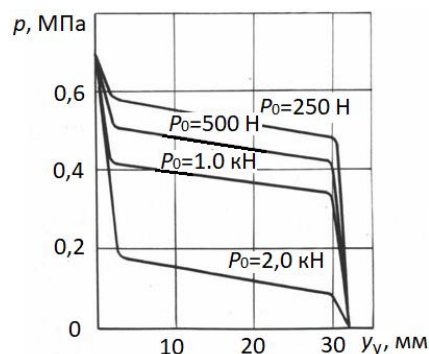


Рисунок 5 – Изменение давления в управляющей полости ПУ по ходу штока управления

Это связано с колебаниями клапана ПУ и определяется жесткостными характеристиками пружины подвижного седла. Однако амплитуда колебаний давления мала и практически не оказывает влияния на перемещение силового штока, но все же происходит увеличение расхода сжатого воздуха за счет перепуска воздуха на управляющей полости в атмосферу. При увеличении времени выдвигания штока ПУ (рисунок 7), т. е. при режиме работы, соответствующем плавному включению сцепления, возникновения колебаний давления в управляющей полости отмечено не было.

Динамические характеристики, приведенные на рисунке 7, позволяют представить цикл работы ПУ, состоящий из нескольких этапов. Вначале (этап I) осуществляется незначительное перемещение управляющего штока на 2–3 мм, а силовой шток остается неподвижным, что соответствует перемещению клапана (выбор зазора) и его прижатию к подвижному седлу. При этом осуществляется падение давления в управляющей полости до величины, определяемой усилием предварительного сжатия пружин сцепления.

Затем осуществляется совместное перемещение управляющего и силового штоков (этап II), что соответствует процессу выключения сцепления. Падение давления в управляющей полости на этом этапе определяется жесткостью отжимных пружин муфты сцепления. После фазы выдержки (этап III) осуществляется этап IV, соответствующий включению сцепления. При этом осуществляется некоторое нарастание давления в управляющей полости при незначительном перемещении управляющего штока и неподвижном силовом штоке, что определяется гистерезисом ПУ вследствие трения его поршня о корпус.

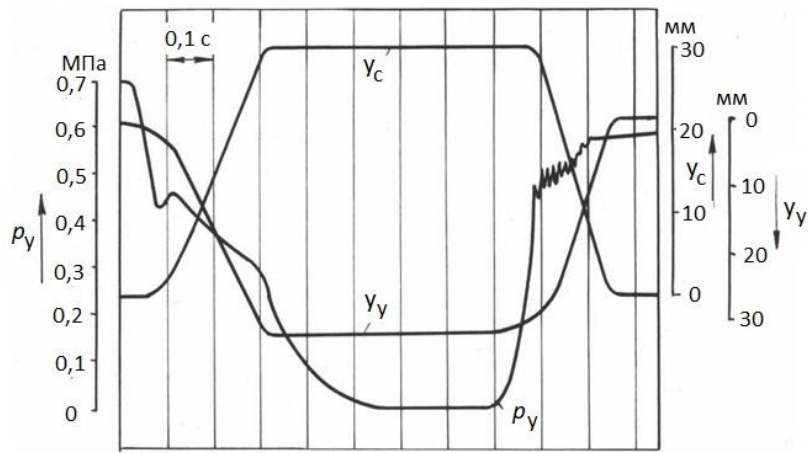


Рисунок 6 – Динамические характеристики ПУ при темпе воздействия на управляющий шток 0,3 с

Затем осуществляется совместное движение управляющего и силового штоков. После перемещения штоков ПУ в исходное положение происходит выравнивание давлений в его управляющей и силовой полостях (этап V).

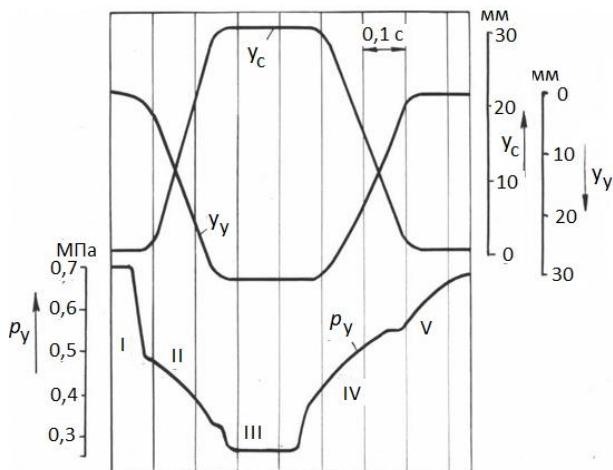


Рисунок 7 – Динамические характеристики ПУ при темпе воздействия на шток управления $t_n = 2,5$ с

Характеристики ПУ, полученные при повторно-кратковременных воздействиях на управляющий шток (рисунок 8), позволяют выявить быстродействие ПУ, а также стабильность его работы. Как видно из приведенных зависимостей, ПУ имеет высокую стабильность работы, силовой шток перемещается плавно, без рывков и заеданий. Однако после фазы выдержки заметно ступенчатое перемещение управляющего штока, что связано с запаздыванием нарастания давления в управляющей полости. Для устранения это явления целесообразно увеличение пропускной способности соединительных полостей между силовой и управляющей полостью.

В процессе испытаний было установлено, что в случае несоосного расположения силового штока и штока пневматического цилиндра лабораторной установки возникают повышенные силы сопротивления перемещению

силового штока за счет его перекоса и перекоса поршня ПУ. При длительной эксплуатации в подобных условиях могут появиться задирки на силовом штоке и нарушиться работоспособность узла. Для исключения этого целесообразно крепление ПУ выполнить таким образом, чтобы оно позволяло силовому штоку самоустанавливаться и обеспечивало совпадение направлений его перемещения и перемещения передаточного механизма сцепления. Это позволит избежать перекосов силового штока и повысить тем самым долговечность работы узла.

Кроме лабораторных исследований совместно со специалистами ОАО «МТЗ» были проведены экспериментальные исследования ПУ сцепления при установке непосредственно на трактор «Беларус» кл. 2 и привод его осуществлялся от гидравлического цилиндра, связанного с педалью управления сцеплением. После установки ПУ производилась заправка гидросистемы тормозной жидкостью и ее прокачка. При проведении экспериментальных исследований осуществлялась регистрация следующих параметров: давления жидкости в управляющей полости ПУ, давления воздуха в силовой полости, ход педали сцепления и ход силового штока ПУ. Испытания проводились при работающем двигателе и давлении воздуха в ресивере в пределах, обеспечиваемых регулятором давления пневматической системы трактора. При испытаниях оценивалось следящее действие ПУ, а также его характеристики при нажатии и отпуске педали сцепления с высоким темпом и в режиме повторно-кратковременных включений сцепления.

В результате исследований установлено, что ПУ обладает хорошим следящим действием при выключении сцепления. Однако при обратном ходе педали сцепления перемещение силового штока осуществляется рывками. Кроме того, в режиме повторно-

кратковременных включений наблюдалось «зависание» педали в промежуточном положении. Анализ результатов испытаний позволил выявить, что причинами вышеуказанных недостатков ПУ являются недостаточный диа-

метр трубопровода, соединявшего гидроцилиндр с управляющей полостью ПУ, а также достаточно большая инерционность поршневого элемента.

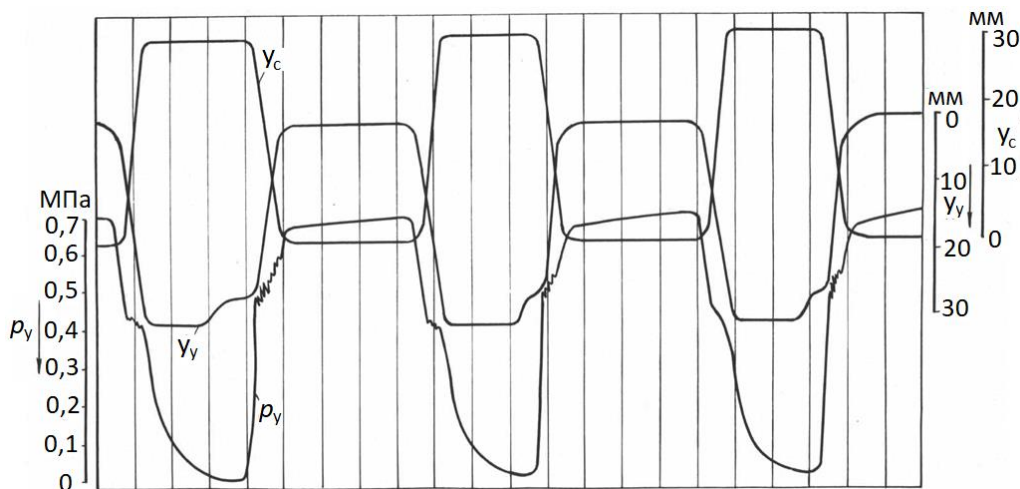


Рисунок 8 – Динамические характеристики ПУ при повторно-кратковременном воздействии на управляющий шток

При проведении лабораторных испытаний пневматического ТК были получены статические и динамические характеристики его секций, а также значения приводного усилия. Усилие на сдвоенных тормозных педалях находится в пределах, допускаемых ГОСТ 12.2.019-2015 [11].

Как видно из рисунка 9, секции ТК обладают удовлетворительным следящим действием, а также обеспечивают опережающее срабатывание по ходу педали секции прицепа [12]. Однако имеет место неравномерное по ходу педали срабатывание секций управления бортами тягача, а именно, в диапазоне хода педали от 0° до 17° происходит опережающее нарастание давления на выходе левой секции, а при дальнейшем перемещении педалей рост давления в левой секции отстает от роста давления в секции управления правым бортом тягача. Регулировка ТК на одновременное начало нарастания давления по бортам привела к существенному рассогласованию величины давления в конечном диапазоне хода педалей. Таким образом, с целью исключения разницы давлений на выходах бортовых секций целесообразно устанавливать уравнивательные клапаны. Это несколько усложняет конструкцию крана, однако повышает безопасность движения при торможении.

Как показывает анализ динамических характеристик (рисунок 10), секции тормозного крана обладают высоким быстродействием. Время срабатывания секций тягача при торможении составляет 0,4 с, а секции прицепа – 0,35 с.

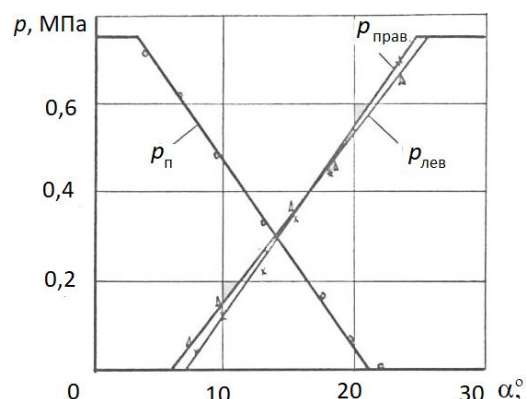


Рисунок 9 – Статические характеристики тормозного крана управления бортами

Оттормаживание секций тягача осуществляется за 0,38 с, а секции прицепа – за 0,55 с. При проведении испытаний установлено, что время срабатывания секций тягача существенным образом зависит от объема подсоединенных к ним тормозных камер и проходного сечения, подводящего воздух ко входу секций трубопровода. В частности, при подсоединении к крану тормозных камер объемом $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ и внутреннем диаметре подводящего трубопровода 0,008 м, время срабатывания бортовых секций составляло 1,0 с. Таким образом, с точки зрения увеличения быстродействия тормозного крана и повышения безопасности движения целесообразно обеспечить подключение каждой секции к ресиверу с помощью отдельного трубопровода.

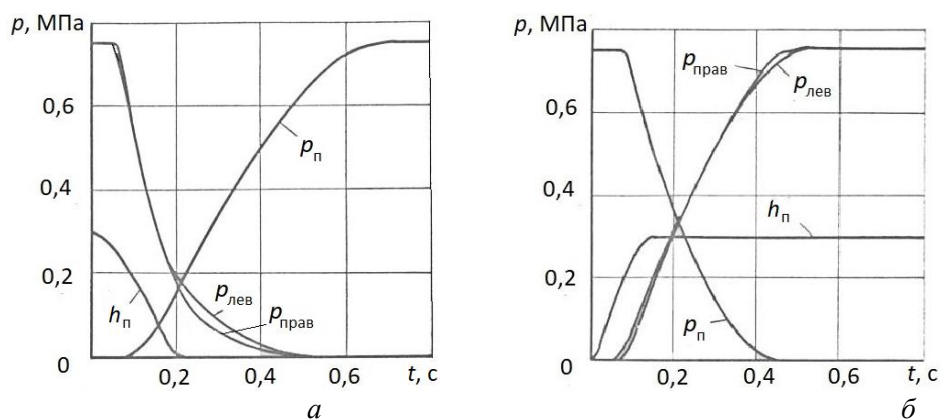


Рисунок 10 – Динамические характеристики тормозного крана управления бортами (а – оттормаживание, б – торможение)

Заключение

В результате проведения испытаний было отмечено, что как ПУ, так и ТК обладают хорошим следящим действием во всем диапазоне перемещения управляющего элемента, а также высоким быстродействием.

Обнаруженные высокочастотные колебания давления в управляющей полости ПУ при «броске» педали сцепления требуют корректного выбора жесткостных характеристик пружины подвижного седла клапана ПУ.

Для устранения ступенчатого перемещения силового штока и исключения «зависания» педали сцепления в промежуточном положении при обратном ходе целесообразно увеличить пропускную способность связей между силовой и управляющей полостью и уменьшить инерционность поршневого элемента.

Для исключения перекоса штока и цилиндра ПУ, что приводит к увеличению сил сопротивления и возникновению задиrow на подвижных частях, предлагается, чтобы крепление ПУ позволяло силовому штоку самоустанавливаться.

Для исключения неравномерного по ходу педали срабатывания секций ТК управления бортами тягача предлагается установка на выходах бортовых секций уравнивающих клапанов. Это несколько усложнит конструкцию ТК, однако повысит безопасность движения при торможении. Для повышения быстродействия ТК, соответственно, безопасности движения, целесообразно обеспечить подключение каждой секции к ресиверу с помощью отдельного трубопровода.

Литература

1. Логвинов, В. П. Разработка и исследование пневмогидравлического усилителя привода управления сцеплением большегрузного автомобиля : диссертация ... кандидата технических наук : 05.00.00. – Харьков, 2001. – 221 с.

2. Рахлей, А. И. Следящий электропневматический тормозной привод модульного типа тракторного поезда : диссертация ... кандидата технических наук : 05.05.03. – Минск, 1993. – 180 с.

3. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/344252/#>. – Дата доступа: 01.09.2023.

4. Богдан, Н. В. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин / Н. В. Богдан // Мн. : Ураджай, 2002. – 426 с.

5. БЕЛАРУС 1221.2/1221В.2 1221.3. Руководство по эксплуатации. – Мн. : ПО «МТЗ», 2009.

6. Шушкевич, В. А. Основы тензометрии / В. А. Шушкевич // Мн. : Вышэйш. школа, 1975. – 352 с.

7. Метлюк, Н. Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко // М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.

8. Тракторы. Виды и программы испытаний: ГОСТ 25836-83. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003.

9. Гребенникова, И. В. Методы математической обработки экспериментальных данных : учебно-методическое пособие / И. В. Гребенникова // Изд-во Урал. ун-та, Екатеринбург. – 2015. – 124 с.

10. Приводы пневматические тормозных систем автотранспортных средств. Технические требования: ГОСТ 4364-81. – М : Стандартинформ, 2006.

11. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.2.019-2015. – М : Стандартинформ, 2015.

12. Тракторные поезда / П. П. Артемьев [и др.]; под ред. В. В. Гуськова. – М: Машиностроение, 1982. – 181 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 15 July 2023

EXPERIMENTAL STUDY OF PNEUMATIC DEVICES THAT REDUCE THE EFFORT ON THE CONTROLS

Modern trends in the development of automotive construction involve the introduction of elements into the objects being created that ensure high performance characteristics of the product. If we consider the control elements of nodes, aggregates and systems of machines, then the main functional characteristics are ergonomic (accessibility, effort on the controls, etc.), as well as durability, good performance and stability of operation,

If we consider the braking system of a tractor, then, taking into account the requirements of normative documents on the use of only pneumatic braking mechanisms on a trailer train, it seems appropriate to use a pneumatic braking system on the tractor itself, which will facilitate the coordination of braking of tractor train links [Tractor trains]. In addition, the use of pneumatic amplifiers in various systems and drives is of interest.

This article presents the results of experimental studies of promising designs of a pneumatic clutch booster for tractors of the Belarus family and a three-section pneumatic brake crane for controlling the sides, designed for universal row tractors cl. 1,4–2,0. The program and methodology of experimental research, the measuring and recording equipment used, the schemes of test facilities for laboratory tests, the installation sites of sensors are presented.

The conducted laboratory studies allowed us to obtain static and dynamic characteristics of the tested pneumatic devices, which allowed us to evaluate their tracking effect and performance. During the experiment, the influence of some design and operational factors on the output parameters and stability of the studied nodes was studied. Based on the results of the work, recommendations were proposed to improve the design of the units under consideration, as well as their rational installation on the tractor and connection to its pneumatic system.

Keywords: *pneumatic booster, tracking action, speed, brake valve, pressure, force, operability, synchronicity of operation, static characteristics, dynamic characteristics, sensors.*

References

1. Logvinov, V. P. Development and research of a pneumohydraulic clutch control drive amplifier for a larger car : dissertation... Candidate of Technical Sciences : 05.00.00. – Kharkiv, 2001. – 221 p.

2. 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.

3. Encyclopedia of Mechanical Engineering XXL [Electronic resource]. – Access mode:

[https://mash-xxl.info/info/344252 /#](https://mash-xxl.info/info/344252/#). – Access date: 01.09.2023.

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

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

6. Shushkevich, V. A. Fundamentals of tensometry / V. A. Shushkevich // Mn. : Vysheysh. school, 1975. – 352 p.

7. Metlyuk, N. F. Dynamics of pneumatic and

hydraulic vehicles / N. F. Metlyuk, V. P. Avtushko // М.: М.: Mechanical engineering, 1980. – 231 p.

8. Tractors. Types and testing programs: GOST 25836-83. – Moscow : IPK Publishing House of Standards, 2003.

9. Grebennikova, I. V. Methods of mathematical processing of experimental data : an educational and methodical manual / I. V. Grebennikova // Ural University Publishing House, Yekaterinburg. – 2015. – 124 p.

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

11. Tractors and self-propelled agricultural machines. General safety requirements: GOST 12.2.019-2015. – М : Standartinform, 2015.

12. Tractor trains / P. P. Artemyev [et al.]; edited by V. V. Guskov. – Moscow: М.: Mechanical engineering, 1982. – 181 p.

УДК 629.114

ЕРМИЛОВ С. В., ст. преп.

E-mail: gpa_atf@bntu.by

ЖИЛЕВИЧ М. И., канд. техн. наук, доц.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 25.08.2023

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯТОРА ТОРМОЗНОГО ПРИВОДА КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА С ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АНТИБЛОКИРОВОЧНОЙ СИСТЕМОЙ

Применение различных методов получения математических моделей позволяет значительно сократить сроки на проектно-конструкторские и исследовательские работы в ходе разработки гидравлических приводов.

В настоящее время применение мощных персональных компьютеров дает возможность существенно повысить качество получаемых результатов разрабатываемых математических моделей благодаря более детальному описанию процессов, определить структуру разрабатываемого гидравлического привода либо его отдельных элементов и выбрать параметры, оказывающие наибольшее влияние на динамические процессы, протекающие в исследуемом объекте.

В данной работе получена математическая модель модулятора антиблокировочной тормозной системы автомобиля особо большой грузоподъемности, представленного в виде системы с сосредоточенными параметрами.

Также в работе рассмотрены основные методы составления математических моделей гидроприводов и проанализированы работы, посвященные разработке различных математических моделей, позволяющих описать гидравлический привод с различной степенью точности, что дает возможность выбрать наиболее рациональный способ составления математической модели модулятора гидравлической антиблокировочной тормозной системы автомобиля особо большой грузоподъемности с учетом принятых допущений.

Решение системы дифференциальных уравнений, описывающих полученную математическую модель, при помощи численных методов или различных специализированных программных сред, например, таких как Matlab с расширением Simulink, в дальнейшем позволяет исследовать влияние внутренних параметров на динамические процессы в предложенном модуляторе гидравлической антиблокировочной системы и выбрать их наиболее оптимальные значения.

Ключевые слова: математическая модель, модулятор, антиблокировочная система, гидропривод, автомобиль особо большой грузоподъемности.

Введение

Гидравлические тормозные приводы являются нелинейными системами, переходные процессы в которых описываются линейными и нелинейными дифференциальными уравнениями. Нелинейность обусловлена рядом факторов: податливостью рабочей жидкости и гидравлического контура в целом; непостоянством внешней нагрузки, потерями давления в магистралях и аппаратах привода и т. д.

При исследовании динамики гидропривода принимают ряд допущений. Например, постоянные свойства жидкости (несжимаемая, невязкая, с постоянной упругостью), режим ее течения жидкости (только ламинарный либо только турбулентный) и т. д. Упростить расчеты позволяют приближенные зависимости, полученные на основании уравнений Навье-Стокса, Бернулли и др.

Применение математического моделирования делает возможным описать математическими выражениями как отдельные элементы гидропривода, так и привод целиком и изучить поведение исследуемого объекта. Полученные системы уравнений решаются либо численными методами, либо с применением специализированного программного обеспечения.

Анализ публикаций

Некоторые методы составления математических моделей гидравлического привода рассмотрены в работах [1–12].

Методы, предложенные в [1; 2], ориентированы на конструкторские отделы, занимающиеся разработкой гидроприводов, но их использование на практике затруднительно, из-за необходимости применения дополнительного высокоточного оборудования, с целью определения параметров, описание которых отсутствует в технической документации.

В [3–5] допущения принятые в ходе составления математических моделей упрощают систему уравнений до линейных зависимостей, что позволяет исследовать частные случаи поведения привода.

В работах [6–8] составлены подробные математические модели гидравлических приводов с учетом протекающих в них физических процессов (магнитный гистерезис, переменную индукцию, воздействие гидродинамических сил на элементы гидропривода и прочее). Они имеют высокую точность, однако применение внесистемных единиц существенно ограничивает применение таких математических моделей.

В работах [9; 10] представлена математиче-

ская модель золотникового распределителя с подробной методикой определения всех необходимых для расчетов параметров, но без учета характера движения гидроцилиндра

Вопросы исследования динамики и расчета гидравлического тормозного привода автомобилей рассмотрены в работах [11; 12].

Цель и постановка задачи.

Целью данной работы является построение математической модели модулятора гидравлической антиблокировочной системы (АБС) тормозного привода автомобиля особо большой грузоподъемности, позволяющую в дальнейшем исследовать ее динамические характеристики. Так как составление математической модели модулятора может быть реализовано различными способами необходимо выбрать наиболее рациональную методику, позволяющую получить относительно простую и адекватную модель.

Основные методы составления математических моделей гидроприводов

В зависимости от принятых допущений выделяют два основных метода составления математических моделей гидравлических приводов [15].

В соответствии с первым методом жидкость представляется как система с распределенными параметрами. Изменения давления и расхода в трубопроводе постоянного сечения при невязкой сжимаемой жидкости определяют при помощи волновых уравнений:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\rho}{f} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t}; \quad \frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{E}{f} \frac{\partial Q}{\partial x}, \quad (1)$$

где p и Q – давление и расход рабочей жидкости соответственно;

t – время;

x – координата вдоль оси трубопровода;

ρ – плотность рабочей жидкости;

E – модуль объемной упругости жидкости;

f – площадь проходного сечения трубопровода.

Телеграфные уравнения давления и расхода [15; 16] позволяют учесть вязкость жидкости при неустановившемся движении и записываются в виде:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\rho}{f} \cdot \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + 2 \cdot \zeta \cdot Q \right); \quad \frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{E}{f} \frac{\partial Q}{\partial x}, \quad (2)$$

где ζ – коэффициент гидравлического сопротивления трубопровода.

Математические модели гидроприводов, составленные по данной методике, позволяют исследовать высокочастотные движения поршня и волновые процессы в трубопроводах большой длины.

Главным недостатком метода является сложная форма записи результирующей системы дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих математическую модель, и сложный математический аппарат необходимый при ее решении.

При использовании второго метода гидропривод заменяется динамической схемой и рассматривают как систему с сосредоточенными параметрами. При расчетах для большинства динамических схем гидроприводов могут быть приняты следующие допущения: жидкость является однородной и ее свойства не изменяются во время переходного процесса, отсутствуют утечки и кавитация, потери давления не зависят от нестационарности потока рабочей жидкости. Также могут не учитываться сжимаемость жидкости, силы трения, потери в сливных магистралях.

Как правило, при составлении системы уравнений, описывающих физические процессы в гидроприводе, используют три основных типа выражений:

- уравнения баланса мгновенных объемных расходов в узловых точках расчетной схемы;
- дифференциальные уравнения движения подвижных элементов гидропривода под действием приложенных сил и моментов;
- дифференциальные уравнения движения рабочей жидкости в элементах гидропривода.

Для i -го узла уравнение расходов с учетом сжимаемости жидкости имеет вид:

$$\sum Q_{\text{вх } i} = \sum Q_{\text{вых } i} + Q_{\text{д } i},$$

где $\sum Q_{\text{вх } i}$ – сумма входящих расходов в i -ый узел;

$\sum Q_{\text{вых } i}$ – сумма выходящих расходов из i -ого узла;

$Q_{\text{д } i}$ – расход на деформацию жидкости, сосредоточенной в i -ом узле.

Расход на деформацию жидкости может быть определен по формуле:

$$Q_{\text{д } i} = V_i \cdot \psi(p_i) \cdot \frac{dp_i}{dt},$$

где V_i – объем жидкости, сосредоточенной в i -ом узле;

$\psi(p_i)$ – коэффициент податливости жидкости;

p_i – давление в i -м узле.

Зависимости для определения $\psi(p_i)$ приведены в [15; 17; 18]. Наиболее простым для расчетов можно принять:

$$\psi(p_i) = \frac{1}{(E_{a0} + a_p \cdot p_i)},$$

где E_{a0} – адиабатический модуль объемной упругости жидкости;

a_p – коэффициент, учитывающий влияние давления.

Уравнения движения рабочей жидкости составляются на основе баланса давлений для k -го участка гидроцепи:

$$P_{\text{вх } k} = P_{\text{вых } k} + \Delta P_k,$$

где $P_{\text{вх } k}$, $P_{\text{вых } k}$ – соответственно давления на входе и выходе участка гидроцепи;

ΔP_k – потери энергии движущейся вязкой жидкости на рассматриваемом участке гидроцепи.

Выделяют три основных вида потерь давления: по длине (ΔP_{lk}), местные (ΔP_{mk}) и инерционные (ΔP_{jk}), которые могут быть определены по формулам:

$$\Delta P_{lk} = \frac{27,5 \cdot \rho \cdot \nu \cdot l_k}{f_k} \frac{dx_k}{dt} + \frac{0,443 \cdot k_{\varepsilon k} \cdot \rho \cdot l_k}{\sqrt{f_k}} \cdot \left(\frac{dx_k}{dt} \right)^2,$$

$$\Delta P_{mk} = \frac{1}{2} \cdot \zeta_k \rho \cdot \left(\frac{dx_k}{dt} \right)^2; \quad \Delta P_{jk} = \rho \cdot l_k \cdot \left(\frac{dx_k}{dt} \right)^2,$$

где ρ , ν – плотность и кинематическая вязкость рабочей жидкости;

l_k , f_k – длина и площадь сечения участка трубопровода;

$k_{\varepsilon k}$, ζ_k – коэффициент, зависящий от относительной шероховатости внутренних стенок трубопровода и коэффициент местного сопротивления;

x_k – перемещение столба жидкости на участке.

Дифференциальные уравнения движения, отражающие равновесие движущегося элемента под действием приложенных сил (моментов). Для поступательно-движущихся элементов

$$m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = P_A - P_C,$$

где m – приведенная к подвижному элементу масса;

x – перемещение подвижного элемента;

P_A – сумма активных сил;

P_C – сумма сил сопротивления.

Для элементов, совершающих вращательное движение,

$$J \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = M_A - M_C,$$

где J – приведенный момент инерции массы вращающихся частей;

φ – угол поворота подвижного элемента;

M_A – сумма моментов активных сил;

M_C – сумма моментов сил сопротивления.

В общем случае приведенная к подвижному элементу масса включает сумму масс механических подвижных элементов и рабочей жидкости, заключенной в магистралях гидравлического привода на рассматриваемом участке.

После математических преобразований конечную модель приводят к замкнутой системе дифференциальных уравнений, решаемой численными методами, например, методом Рунге-Кутты четвертого порядка.

В настоящее время для моделирования гидроприводов разработаны различные программные продукты.

Среда моделирования *DSHplus* фирмы *Fluidon* [19] позволяет выполнять динамические расчеты сложных гидравлических систем. В среде *DSHplus* возможна связь с другими программными пакетами. В ходе работы программы на дисплее в режиме реального времени отображается анимация подвижных элементов системы (золотников распределителей, запорных элементов клапанов, штоков гидроцилиндров и пр.) и изменение давления в узловых точках разрабатываемой системы, что позволяет непрерывно контролировать работоспособность модели и оперативно ее корректировать. Для автоматизации моделирования имеются дополнительные библиотеки, загружаемые через Интернет.

Пакет *Matlab* с расширением *Simulink* [20] позволяет смоделировать как линеаризованную, так и нелинейную систему автоматического управления и оперативно получить ее переходные процессы. Пользовательский интерфейс позволяет составить модель на основании готовых блоков, извлекаемых из библиотеки данных на рабочее поле, где между элементами устанавливаются соответствующие взаимосвязи. При моделировании имеется возможность изменения параметров модели и наблюдения за полученными результатами при помощи цифровых осциллографов.

Пользовательский интерфейс системы *HydroCAD* [21] адаптирован для разработки гидравлических приводов, виртуальные модели которых позволяют отобразить происходящие в них физические процессы и получить на мониторе переходные характеристики всех исследуемых параметров.

В работе [22] разработана методика формализованного моделирования, алгоритм и программа автоматического синтеза динамической модели гидропривода по его топологии, что позволяет рассчитывать переходные процессы в гидроприводе без специальных знаний в данной области, приблизить решение исследовательских задач к инженерной практике и уменьшить объем экспериментальных исследований при проектировании гидроприводов. В работе описан способ формирования расчетной схемы и способ ее цифрового кодирования. В данный метод включен универсальный алгоритм моделирования типовых входных воздействий изменением проходного сечения гидроаппаратов и давления на входе исследуемого контура. Все коэффициенты в зависимости от структуры гидропривода и его параметров формируются в автоматическом режиме.

Математическая модель модулятора АБС

В модуляторах гидравлических тормозных приводов с антиблокировочными системами для регулирования давления в тормозных цилиндрах в качестве исполнительного элемента применяют, как правило, гидрораспределители с электромагнитным управлением. При небольших расходах рабочей жидкости размеры золотниковых пар получаются небольшими, для управления ими не требуются большие усилия, вследствие чего могут применяться серийно выпускаемые электромагниты.

Однако с увеличением расхода рабочей жидкости (например, применительно к тормозным системам автомобилей особо большой грузоподъемности, в частности, БелАЗ) обостранно растут конструктивные размеры золотниковых пар модулятора и их инерционность. Для управления такими золотниками необходимо использовать либо гидроусилители, что снижает быстродействие тормозного привода в целом и не позволяет обеспечить требуемую частоту срабатывания модулятора, либо специальные форсированные электромагниты, обеспечивающие заданные частоту и усилие на толкателе.

Для уменьшения инерционности элементов гидравлического модулятора с целью обеспечения заданного быстродействия антиблокировочной системы автомобиля особо большой

грузоподъемности, предложена схема гидравлического модулятора АБС, в котором параллельно впускному клапану с электромагнитным управлением установлен нормально закрытый клапан с гидравлическим управлением [23]. Схема модулятора представлена на рисунке 1.

Модулятор содержит впускной клапан 1, выполненный в виде двухпозиционного трехлинейного распределителя, нормально закрытый выпускной клапан 4 и нормально закрытый клапан 6 с гидравлическим управлением. Клапаны 1 и 6 установлены параллельно и соединены с линией 2 подачи рабочей жидкости и линией 3 подвода рабочей жидкости к тормозному цилиндру. Выпускной клапан 4 соединен с линией 3 подвода рабочей жидкости к тормозному цилиндру и линией 5 сброса давления. Управление впускным клапаном 1 осуществляется посредством электромагнита 9 и возвратной пружины 10, управление выпускным – посредством электромагнита 11 и возвратной пружины 12. Давление в линиях 7 и 8 управляет клапаном 6, пружина 13 обеспечивает возврат клапана 6 в исходное положение.

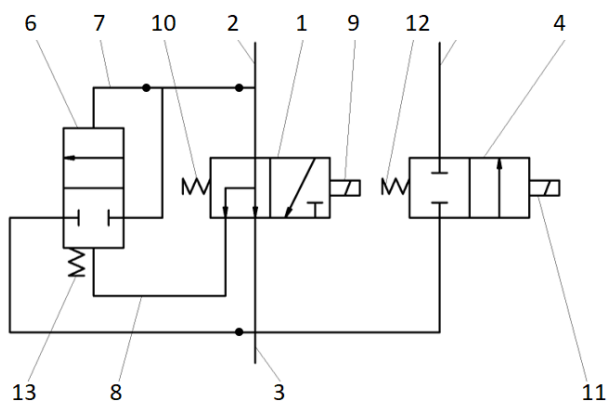


Рисунок 1 – Гидравлический модулятор автомобиля особо большой грузоподъемности

Работа модулятора описана в [24; 25].

На рисунке 2 приведена динамическая схема предлагаемого гидравлического модулятора для гидравлической тормозной антиблокировочной системы автомобиля особо большой грузоподъемности.

Составим уравнения балансов расходов жидкости в узлах для описания связи между параметрами жидкости на смежных участках, используя методику, предложенную в [15].

В расчетной схеме (рисунк 2) имеются следующие узлы с разделением потока:

- узел Y_1 – разделение потока жидкости, входящего в модулятор, на основной и вспомогательный;
- узел Y_3 – разделение потока на выходе из модулятора на сливной (идущий к сливному

клапану P_2) и рабочий (идущий к исполнительному гидроцилиндру). Так же в данном узле происходит объединение основного и вспомогательного потоков рабочей жидкости.

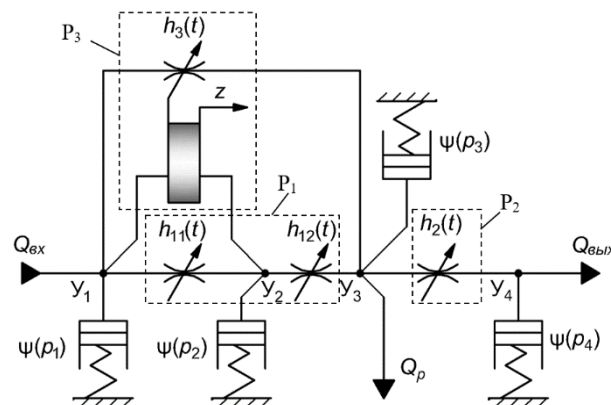


Рисунок 2 – Динамическая схема модулятора автомобиля особо большой грузоподъемности

Узлы без разделения потока:

- узел Y_2 описывает поток рабочей жидкости, проходящей через основной клапан P_1 , где вход и выход – соответственно расходы через впускное и выпускное окна;
- в узле Y_4 входным является расход клапана P_2 , а выходным – поток жидкости, идущей на слив.

Все рассмотренные узлы учитывают сжимаемость сосредоточенного в них объема жидкости.

Запишем уравнения балансов расходов жидкости в узлах.

Узел Y_1 :

$$Q_{вх} - \mu \cdot \pi \cdot d_{p1} \cdot h_{11}(t) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho}} - \mu \cdot \pi \cdot d_{p3} \cdot h_3(t) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_3)}{\rho}} - \frac{V_1}{E_{a0} + a_p \cdot p_1} \cdot \frac{dp_1}{dt} = 0 \quad (1)$$

где $Q_{вх}$ – расход жидкости на входе в модулятор;
 μ – коэффициент расхода золотникового распределителя;

d_{pi} – диаметр золотника i -го распределителя ($i = 1, 3$);

$h_{11}(t)$ – закон перемещения золотника распределителя P_1 , влияющий на площадь входного отверстия P_1 ;

$h_3(t)$ – закон перемещения золотника распределителя P_3 ;

p_i – давление в i -ом узле ($i = 1, 2, 3$);

V_1 – объем жидкости, сосредоточенный в узле Y_1 .

Узел $У_2$:

$$\begin{aligned} & \mu \cdot \pi \cdot d_{p1} \cdot h_{11}(t) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho}} - \\ & - \mu \cdot \pi \cdot d_{p1} \cdot h_{12}(t) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_2 - p_3)}{\rho}} - \\ & - \frac{V_2}{E_{a0} + a_p \cdot p_2} \cdot \frac{dp_2}{dt} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \mu \cdot \pi \cdot d_{p1} \cdot h_{11}(t) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho}} + \mu \cdot \pi \cdot d_{p3} \cdot h_3(t) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_3)}{\rho}} - \\ & - Q_{ГЦ} - \mu \cdot \pi \cdot d_{p2} \cdot h_2(t) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_3 - p_4)}{\rho}} - \frac{V_3}{E_{a0} + a_p \cdot p_3} \cdot \frac{dp_3}{dt} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

где $Q_{ГЦ}$ – расход жидкости в идущей к исполнительному гидроцилиндру;
 d_{p2} – диаметр золотника второго распределителя;
 $h_2(t)$ – закон перемещения золотника распределителя P_2 ;
 V_3 – объем жидкости, сосредоточенный в узле $У_3$.

Узел $У_4$:

$$\begin{aligned} & \mu \cdot \pi \cdot d_{p2} \cdot h_2(t) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_3 - p_4)}{\rho}} - Q_{вых} - \\ & - \frac{V_4}{E_{a0} + a_p \cdot p_4} \cdot \frac{dp_4}{dt} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

где $Q_{вых}$ – расход жидкости, идущей на слив;
 V_4 – объем жидкости, сосредоточенный в узле $У_4$.

Уравнение движения золотника клапана P_3 формируется на основе равновесия движущегося элемента под действием приложенных сил.

$$m_{зол3} \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} = P_{Азол3} - P_{Сзол3},$$

где $m_{зол3}$ – масса золотника распределителя P_3 ;
 z – перемещение золотника распределителя P_3 ;

$P_{Азол3}$ – активная сила, действующая на золотник клапана P_3 ;

$P_{Сзол3}$ – силы сопротивления, действующие на золотник клапана P_3 .

Активной силой, приводящей золотник в движение, является сила давления:

$$P_{Азол3} = (p_1 - p_2) \cdot f_{зол3},$$

где $f_{зол3}$ – площадь торца золотника клапана P_3 .

где $h_{12}(t)$ – закон перемещения золотника распределителя P_1 , влияющий на площадь выходного отверстия P_1 ;

V_2 – объем жидкости, сосредоточенный в узле $У_2$.

При описании уравнений балансов расходов в узлах $У_1$ и $У_2$ не учитываются расходы рабочей жидкости в управляющих золотником вспомогательного клапана P_3 линиях, т. к. их величина незначительна.

Узел $У_3$:

Сила сопротивления описывается выражением:

$$P_{Сзол3} = P_{упр3} + P_{тр.зол3} \cdot \operatorname{sgn} \left(\frac{dz}{dt} \right),$$

где $P_{упр3}$ – сила упругости возвратной пружины;
 $P_{тр.зол3}$ – сила трения золотника вспомогательного клапана P_3 .

Сила упругости возвратной пружины:

$$P_{упр3} = C_3 \cdot z,$$

где C_3 – коэффициент упругости возвратной пружины.

Таким образом, конечное выражение, описывающее работу клапана P_3 будет иметь вид:

$$\begin{aligned} & m_{зол} \cdot \frac{d^2 z}{dt^2} = (p_1 - p_2) \cdot f_{зол3} - \\ & - \left(C_3 \cdot z + P_{тр.зол3} \cdot \operatorname{sgn} \left(\frac{dz}{dt} \right) \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Конечная система включает уравнения (1–5). Решение системы может быть выполнено численными методами.

Заключение

Рассмотрены основные методы составления математических моделей гидравлических приводов. Разработана математическая модель

модулятора гидравлической антиблокировочной системы тормозного привода автомобиля особо большой грузоподъемности, позволяющая проверить работоспособность предлагаемого схемного решения модулятора АБС.

Литература

1. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика / Аврунин Г. А., [и др.] – Харьков: ХНАДУ, 2008. – 412 с.

2. Башта, Т. М. Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.

3. Gray, J. Parameter Identification for Electrohydraulic Valvetrain Systems / J. Gray, M. Krstic, N. Chaturvedi // *J. of Dynamic Systems. Measurement and Control*. – 2011. – № 6. – P. 157–162.

4. Mintsas, H. A. Feedback Linearization-Based Position Control of an Electrohydraulic Servo System With Supply Pressure Uncertainty / H. A. Mintsas, R. Venugopal, J. P. Kenne, C. Belleau // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. – 2012. – № 4. – P. 1092–1099.

5. Ferreira, J. A. Hybrid models for hardware-in-the-loop simulation of hydraulic systems. Part 1: theory / J. A. Ferreira, F. G. Almeida, M. R. Quintas, J. P. Estima de Oliveira // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*. – 2004. – Vol. 218. – № 6. – P. 465–474.

6. Pohl, J. Modelling and validation of a fast switching valve intended for combustion engine valve trains / J. Pohl, M. Sethson, P. Krus, J. O. Palmberg // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*. – 2002. – Vol. 216. – № 2. – С. 105–116.

7. Боровин, Г. К. Моделирование динамики гидропривода ноги шагающей машины / Г. К. Боровин, А. В. Костюк // *Препринты Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН*. – 2002. – С. 8–28.

8. Боровин, Г. К. Моделирование гидравлической системы экзоскелетона / Г. К. Боровин, А. В. Костюк, Д. Сит, В. В. Ястребов // *Математическое моделирование*. – 2006. – № 10. – С. 39–54.

9. Арановский, С. В. Моделирование и идентификация динамики золотникового гидрораспределителя. Часть I. Моделирование / С. В. Арановский, Л. Б. Фрейдович, Л. В. Никифорова, А. А. Лосенков // *Изв. вузов. Приборостроение*. – 2013. – Т. 56. – № 4. – С. 52–56.

10. Арановский, С. В. Моделирование и идентификация динамики золотникового гидрораспределителя. Часть II. Идентификация / С. В. Арановский, Л. Б. Фрейдович, Л. В. Ни-

кифорова, А. А. Лосенков // *Изв. вузов. Приборостроение*. – 2013. – Т. 56. – № 4. – С. 57–60.

11. Автушко, В. П. Исследование динамики пневмогидравлического тормозного привода автомобилей и автопоездов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / В. П. Автушко ; БПИ. – Мн.: 1972. – 23 с.

12. Балакин, В. Д. Аналитическое исследование торможения колеса с противоблокировочным устройством / В. Д. Балакин, М. А. Петров // *Автомобильная промышленность* – 1965. – № 11. – С. 17–20.

13. Булгаков, Н. А. Исследование взаимодействия автомобиля с дорогой в процессе торможения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / Н. А. Балакин – Харьк. автомоб.-дор. ин-т – Харьков: 1973. – 28 с.

14. Капустин, В. В. Исследование динамики и обоснование параметров модулятора противоблокировочного устройства гидравлического тормозного привода большегрузных автомобилей : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / В. В. Капустин – Минск, 1977. – 239 с.

15. Метлюк, Н. Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко – М. : Машиностроение, 1980. – 231 с.

16. Левитский, Н. И. Расчет управляющих устройств для торможения гидроприводов / Н. И. Левитский, Е. А. Цуханова – М.: Машиностроение, 1971. – 321 с.

17. Колебания элементов аксиально-поршневых гидромашин / К. В. Фролов [и др.]; под ред. К. В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.

18. Кондаков, Л. А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем / Л. А. Кондаков. – М.: Машиностроение, 1982. – 216 с.

19. Fluidon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fluidon.com/en>. – Дата доступа: 22.09.2023.

20. Simulink [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>. – Дата доступа: 22.09.2023.

21. HydroCad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hydrocad.net/>. – Дата доступа: 22.09.2023.

22. Жилевич, М. И. Обоснование параметров встроенной системы диагностирования объединенного гидропривода для повышения безопасности и эффективности карьерных самосвалов БелАЗ : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / М. И. Жилевич; БНТУ – Минск, 2006. – 249 с.

23. Гидравлический модулятор для тормозной системы транспортного средства : пат ВУ 19812 С1 / М. И. Жилевич, С. В. Ермилов. – Оpubл. 28.02.2016

24. 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.

25.. Zhilevich, M., 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.

UDC 629.114

YERMILOV. SERGEY V., Senior Lecturer
E-mail: gpa_atf@bntu.by

ZHYLEVICH Michael I., Ph. D. in Engineering, Associate Professor

Belarussian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 25.08.2023

MATHEMATICAL MODEL OF THE MODULATOR OF THE BRAKE DRIVE OF A DUMP TRUCK WITH A HYDRAULIC ANTI-LOCK SYSTEM

The use of various methods for obtaining mathematical models can significantly reduce the time for design and research work during the development of hydraulic drives.

Currently, the use of powerful personal computers makes it possible to significantly improve the quality of the results of the mathematical models being developed due to a more detailed description of the processes, determine the structure of the hydraulic drive being developed or its individual elements and select the parameters that have the greatest impact on the dynamic processes occurring in the object under study.

In this paper, a mathematical model of the modulator of the anti-lock braking system of a particularly heavy-duty vehicle, presented in the form of a system with concentrated parameters, is obtained.

The paper also discusses the main methods of compiling mathematical models of hydraulic drives and analyzes the work devoted to the development of various mathematical models that describe the hydraulic drive with varying degrees of accuracy, which makes it possible to choose the most rational way to compile a mathematical model of the modulator of the hydraulic anti-lock braking system of a particularly heavy-duty vehicle, taking into account the assumptions made.

Solving a system of differential equations describing the resulting mathematical model using numerical methods or various specialized software environments, for example, such as Matlab with the Simulink extension, further allows us to investigate the influence of internal parameters on dynamic processes in the proposed hydraulic anti-lock system modulator and select their most optimal values.

Keywords: *mathematical model, modulator, anti-lock system, hydraulic drive, heavy-duty vehicle.*

References

1. Volumetric hydraulic drive and hydropneumautomatics / Avrunin G. A., [et al.] – Kharkiv: KHNADU, 2008. – 412 p.

2. Bashta, T. M. Machine-building hydraulics / T. M. Bashta. – M.: Mashinostroenie, 1971. – 672 p.

3. Gray, J. Parameter Identification for Electrohydraulic Valvetrain Systems / J. Gray, M. Krstic,

N. Chaturvedi // Dynamic Systems, measurement and Control. – 2011. – № 6. – P. 157–162.

4. Mintsu, H. A. Feedback Linearization-Based Position Control of an Electrohydraulic Servo System With Supply Pressure Uncertainty / H. A. Mintsu, R. Venugopal, J. P. Kenne, C. Belleau // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2012. – N 4. –P. 1092–1099.

5. Ferreira, J. A. Hybrid models for hardware-in-the-loop simulation of hydraulic systems. Part 1: theory / J. A. Ferreira, F. G. Almeida, M. R. Quintas, J. P. Estima de Oliveira // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering. – 2004. – Vol. 218. – № 6. – P. 465–474.
6. Pohl, J. Modelling and validation of a fast switching valve intended for combustion engine valve trains / J. Pohl, M. Sethson, P. Krus, J. O. Palmberg // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering. – 2002. – Vol. 216. – № 2. – C. 105–116.
7. Borovin, G. K. Modeling of the dynamics of the hydraulic drive of the foot of a walking machine / G. K. Borovin, A. V. Kostyuk // Preprints of the Institute of Applied Mathematics named after M. Keldysh RAS. – 2002. – pp. 8–28.
8. Borovin, G. K. Modeling of the hydraulic system of the exoskeleton / G. K. Borovin, A. V. Kostyuk, D. Sit, V. V. Yastrebov // Mathematical modeling. – 2006. – № 10. – pp. 39–54.
9. Aranovsky, S. V. Modeling and identification of the dynamics of a spool hydraulic distributor. Part I. Modeling / S. V. Aranovsky, L. B. Freidovich, L. V. Nikiforova, A. A. Losenkov // Izv. vuzov. Instrumentation. – 2013. – Vol. 56. – № 4. – pp. 52–56.
10. Aranovsky, S. V. Modeling and identification of the dynamics of a spool hydraulic distributor. Part II. Identification / S. V. Aranovsky, L. B. Freidovich, L. V. Nikiforova, A. A. Losenkov // Izv. vuzov. Instrumentation. – 2013. – Vol. 56. – № 4. – pp. 57–60.
11. Avtushko, V. P. Investigation of the dynamics of the pneumohydraulic brake drive of cars and road trains : abstract. dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.05.03 / V. P. Avtushko ; BPI. – Mn.: 1972. – 23 p.
12. Balakin, V. D. Analytical study of wheel braking with an anti-blocking device / V. D. Balakin, M. A. Petrov // Automotive industry – 1965. – № 11. – pp. 17–20.
13. Bulgakov, N. A. Investigation of the interaction of the car with the road during braking : abstract. dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.05.03 / N. A. Balakin – Kharkiv. auto.-dor. in-t – Kharkiv: 1973. – 28 p.
14. Kapustin, V. V. Study of dynamics and substantiation of parameters of the modulator of the anti-blocking device of the hydraulic brake drive of heavy-duty vehicles : dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.05.03/ V. V. Kapustin. – Minsk, 1977. – 239 p.
15. Metlyuk, N. F. Dynamics of pneumatic and hydraulic drives of cars / N. F. Metlyuk, V. P. Avtushko – M. : Mashinostroenie, 1980. – 231 p.
16. Levitsky, N. I. Calculation of control devices for braking hydraulic drives / N. I. Levitsky, E. A. Tsukhanova – M.: Mashinostroenie, 1971. – 321 p.
17. Vibrations of elements of axial piston hydraulic machines / K. V. Frolov [et al.]; edited by K. V. Frolov. – M.: Mechanical Engineering, 1973. – 280 p.
18. Kondakov, L. A. working fluids and seals of hydraulic systems / L. A. Kondakov. – M.: Mechanical Engineering, 1982. – 216 p.
19. Fluidon [Electronic resource]. – Access mode: <https://fluidon.com/en> – Access date: 22.09.2023.
20. Simulink [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> – Access date: 22.09.2023.
21. HydroCad [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.hydrocad.net/> – Access date: 22.09.2023.
22. Zhilevich, M. I. Substantiation of the parameters of the integrated diagnostics system of the combined hydraulic drive to improve the safety and efficiency of BelAZ dump trucks : dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.05.03 / M. I. Zhilevich; BNTU – Minsk, 2006. – 249 p.
23. Hydraulic modulator for vehicle braking system : pat BY 19812 C1 / M. I. Zhilevich, S. V. Ermilov. – Publ. 02/28/2016
24. Modulator of a hydraulic brake drive with a large flow of working fluid / M. I. Zhilevich [et al.] // Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University : collection of scientific tr. / Kharkiv. nats. auto.-dor. un-t ; editorial board.: Bogomolov V. A. (glav. ed.) [et al.]. – Kharkiv: KHNADU, 2016. – Issue 75. – pp. 83–88.

НИКИШЕВ А. А.,

нач. КБ управления главного конструктора
E-mail: mmz.ugk.dsn@gmail.com

ПЕТРУЧЕНКО А. Н., канд. техн. наук, доцент,

ст. науч. сотр. управления главного конструктора
E-mail: mmz.ugk.ns@yandex.com

ПРЕДКО А. В.,

ст. науч. сотр. управления главного конструктора
E-mail: mmz.ugk.ns@yandex.com

ОАО «Управляющая компания холдинга «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД»,
г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 15.09.2023

СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СНИЖЕНИЯ АМПЛИТУДЫ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Крутильные колебания наблюдаются во всех механизмах, в которых осуществляется вращательное движение валов. Для двигателей внутреннего сгорания проблема крутильных колебаний коленчатого вала актуальна, так как значительные амплитуды колебаний способствуют его усталостному разрушению. Кроме того, крутильные колебания негативно сказываются на показателях работы двигателя, ухудшается эффективный расход топлива, расход масла на угар, растут механические потери, шум и вибрации.

Уменьшение амплитуды крутильных колебаний возможно изменением параметров системы и введением дополнительного специального устройства, работа которого основана на одном из следующих принципов: уравнивании возмущающих моментов, изменении частот колебаний, поглощении энергии колебаний и их комбинации.

Подробно рассмотрены принципы работы и конструкция специальных устройств без поглощения энергии (антивибраторы с деформируемыми элементами, маятниковые антивибраторы) и с поглощением энергии (демпферы сухого трения, демпферы вязкого трения, упруго-фрикционные демпферы, демпферы с резиновым демпфирующим элементом, комбинированные демпферы), применяемых для снижения амплитуды крутильных колебаний коленчатых валов.

Ключевые слова: *крутильные колебания, коленчатый вал, амплитуда колебаний, эквивалентная крутильная система, маятниковый антивибратор, маховая масса, демпфер сухого трения, демпферы вязкого трения.*

Введение

Во время работы двигателя внутреннего сгорания в результате действия на коленчатый вал периодически изменяющихся сил и моментов возникают сложные колебания, которые для упрощения исследования представляются в виде крутильных, изгибных и продольных колебаний. Наибольшую опасность для коленчатого вала представляют крутильные колебания [1]. В случае совпадения частоты собственных колебаний системы с частотой возмущающих сил (моментов) возникает явление

резонанса, при котором амплитуда колебаний значительно возрастает. Это может привести к поломке коленчатого вала и полному выходу из строя всего двигателя. Даже в случае, когда напряжения, возникающие в коленчатом валу вследствие проявления крутильных колебаний, не приводят к его усталостному разрушению, дополнительно следует уделять внимание проблеме снижения амплитуды крутильных колебаний по причине влияния их на шум, вибрацию, удельный эффективный расход топлива,

расход масла на угар, механические потери [2; 3].

Уменьшение амплитуды крутильных колебаний возможно двумя принципиально разными способами:

- изменением параметров крутильной системы с целью ухода резонансных режимов за пределы рабочих частот вращения коленчатого вала;
- вводом в крутильную систему дополнительных специальных устройств.

Реализация первого способа подразумевает варьирование параметрами системы (моментами инерции масс и жесткостями участков вала). Таким образом, можно изменить частоты и амплитуды собственных колебаний. Дополнительно, подбирая порядок чередования вспышек по цилиндрам, углы разворота кривошипов, углы между рядами цилиндров и изменяя индикаторную диаграмму двигателя, можно оказывать влияние на энергию, подводимую к колебательной системе. Однако зачастую применить такой способ на практике не представляется возможным в силу компоновочных ограничений и невозможности внесения изменений в уже существующую конструкцию двигателя.

Второй способ обычно является единственным возможным вариантом снижения амплитуды крутильных колебаний для уже существующего двигателя.

Принципиально, действие специальных устройств может основываться на:

- уравнивании возмущающего момента или изменении частоты колебаний системы;
- поглощении энергии, подводимой возмущающим моментом;

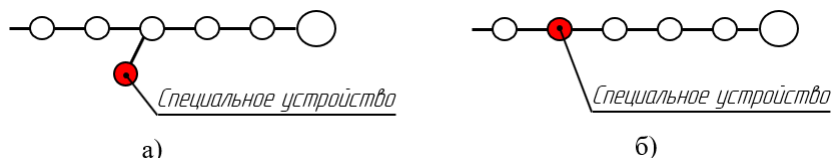


Рисунок 1 – Схемы включения специальных устройств снижения амплитуды крутильных колебаний в систему: а – параллельное включение; б – последовательное включение

Считается, что параллельное включение более предпочтительно, так как при такой схеме нет необходимости предъявлять требования к передаче мощности, что упрощает выбор приемлемого варианта конструкции специального устройства.

Основная часть

Устройства снижения амплитуды крутильных колебаний коленчатых валов без поглощения энергии. Суть работы таких

– комбинировании частично уравнивания возмущающего момента или изменении частоты колебаний и частично его поглощения.

При этом, в чистом виде устройств только поглощающих энергию колебаний на практике не встречается, в любом случае они имеют некоторую массу и при внедрении их в крутильную систему вносят коррективы в характеристики собственных колебаний.

В зависимости от способа воздействия на систему, специальные устройства делятся на [4]:

- устройства без поглощения энергии колебаний;
- устройства с поглощением и последующим рассеиванием энергии колебаний в виде теплоты.

С учетом данного подхода, возможно разделение таких устройств на соответственно гасители и демпферы [5]. Это разделение можно считать необязательным, так как отличаются они только конструктивно отсутствием или наличием трущихся поверхностей. Соответственно, в общем виде все эти устройства можно считать демпферами.

Включение специального устройства в колеблющуюся систему может быть параллельным и последовательным (рисунок 1, а и б соответственно). В первом случае они выполняют свое прямое назначение (влияют на крутильные колебания), а во втором – кроме того являются соединением, передающим поток мощности (муфты). Размещение устройства в крутильной системе должно осуществляться на участках с максимальными амплитудами колебаний сосредоточенных масс.

устройств заключается в уравнивании возмущающих моментов, возникающих в крутильной системе. К таким устройствам относятся динамические демпферы. Часто, в технической литературе их называют антивибраторами. Конструктивно, динамический демпфер представляет собой маховую массу с постоянным моментом инерции, сосредоточенную на определенном участке системы.

В свою очередь, динамические демпферы можно разделить на антивибраторы с дефор-

мируемыми элементами и маятниковые анти-вибраторы.

Антивибраторы с деформируемыми элементами. В антивибраторах с деформируемыми элементами к ступице, жестко связанной с коленчатым валом, присоединен с помощью линейно или нелинейно деформируемых элементов маховик (маховая масса).

В случае применения линейно деформируемых элементов (в частности, пружин) анти-вибратор будет являться дополнительной присоединенной к системе массой, наличие которой приведет к изменению частоты собственных колебаний всей системы [6]. Это позволяет вывести собственные частоты колебаний за пределы рабочего диапазона частот вращения системы и тем самым исключить возможность появления резонансов.

Простейшая конструктивная схема пружинного линейного динамического антивибратора показана на рисунке 2. На валу 1 крутильной системы жестко закреплена ступица 2 антивибратора, маховая масса 3 имеет возможность перемещаться (проворачиваться) относительно ступицы и ограничена пружинами 4. Для простых систем (например, состоящих только из двух масс), подбирая момент инерции маховой массы и жесткость пружин, можно добиться совпадения собственных частот антивибратора и первоначальной системы, при этом закрутка вала крутильной системы может быть значительно уменьшена или полностью устранена [4].

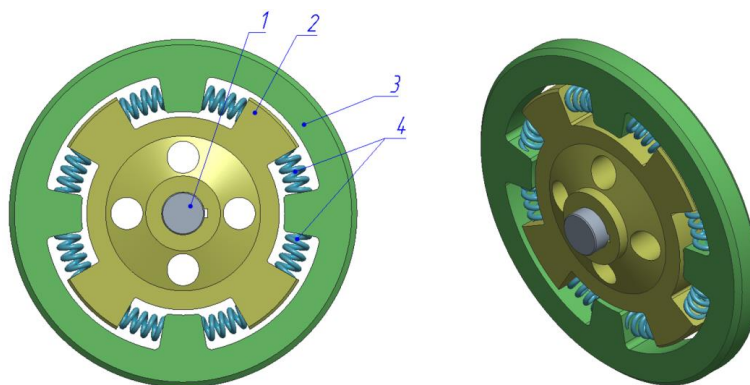


Рисунок 2 – Линейный динамический антивибратор:
1 – вал крутильной системы; 2 – ступица антивибратора; 3 – маховая масса; 4 – пружины

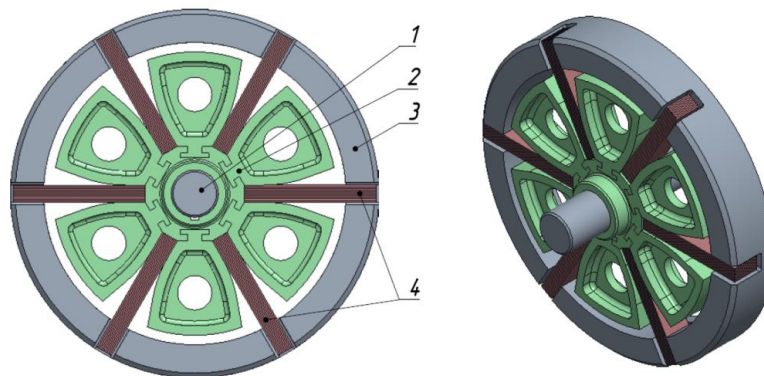


Рисунок 3 – Нелинейный динамический антивибратор:
1 – вал крутильной системы; 2 – ступица антивибратора; 3 – маховая масса;
4 – нелинейно деформируемые элементы

Для систем, в которых возмущающие моменты приложены к нескольким массам (как например, многоцилиндровый двигатель), пружинный линейный антивибратор, настроенный на собственную частоту определенной формы колебаний, будет существенно влиять на смещение резонансной частоты этой формы. Однако, при этом он практически не будет влиять на остальные формы колебаний.

Так как линейный динамический антивибратор работает только в узком диапазоне рабочих частот вращения крутильной системы, то для расширения этого диапазона используют нелинейный динамический антивибратор (рисунок 3). Конструктивно он схож с пружинным линейным антивибратором – на валу 1 крутильной системы жестко установлена ступица 2, перемещение маховой массы 3 ограничено нелинейно деформируемыми эле-

ментами 4 (пружинами с предварительной затяжкой или набором упругих пластин).

Нелинейность характеристики динамических антивибраторов обуславливается свойствами упругого соединения ступицы и маховой массы. Характеристике придается такой вид, чтобы при работе антивибратора наилучшим образом проявлялись свойства нелинейных колебаний.

Нелинейные антивибраторы применяются в системах, которые работают в широком диапазоне частот и нагрузок, когда опасное возрастание амплитуды колебаний происходит при переходе через резонансную частоту вращения [7].

Маятниковые антивибраторы. Если антивибраторы с деформируемыми элементами позволяют сместить резонансные частоты колебаний за пределы рабочих частот вращения вала системы, то маятниковые антивибраторы могут полностью устранить колебания системы.

Простейшая схема маятникового антивибратора показана на рисунке 4 [8]. Качающийся противовес 1 маятникового типа шарнирно соединен с одной из щек коленчатого вала 2. Точка *A* соответствует точке подвеса маятникового противовеса, точка *B* – центру масс маятникового противовеса, вектор $P_{мн}$ – центробежной силе инерции маятникового противовеса, точка *O* – оси вращения коленчатого вала.

При равномерном вращении коленчатого вала ось качания маятника *AB* и ось кривошипа *OA* с учетом действия центробежной силы инерции располагаются на одной равномерно вращающейся линии *OY*. При возникновении крутильных колебаний коленчатого вала от *k*-й гармоники возмущающего момента, ось кривошипа *OA* начинает совершать колебательные движения относительно линии *OY*. Если задаться величинами *OA* и *AB* так, чтобы выполнялось равенство $\sqrt{\frac{OA}{AB}} = k$, то антивибратор будет стремиться создавать колебания вала, находящиеся в противофазе с колебаниями, создаваемыми *k*-й гармоникой возмущающего момента [9].

Большой эффект от применения маятниковых антивибраторов достигается в высокооборотных крутильных системах. Момент от центробежных сил инерции маятниковых противовесов зависит от угла качания маятника от-

носительно кривошипа и от угловой скорости вращения коленчатого вала, возрастая пропорционально ее квадрату.

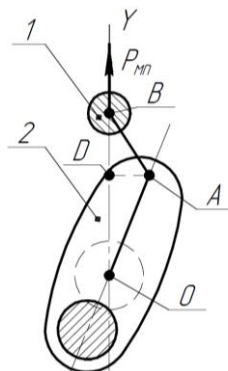


Рисунок 4 – Схема маятникового антивибратора:
1 – маятниковый противовес; 2 – щека коленчатого вала;
A – точка подвеса маятникового противовеса;
B – центр масс маятникового противовеса; O – ось вращения коленчатого вала; D – проекция точки A на вертикальную ось OY; $P_{мн}$ – центробежной силе инерции маятникового противовеса

Маятниковые антивибраторы различны по конструкции противовесов и по способу их соединения со ступицей. Наибольшее распространение получили конструктивные исполнения маятниковых антивибраторов с бифилярным подвесом (рисунок 5) [10]. К валу 1 присоединены маятниковые противовесы 2 через пальцы 3, которые имеют зазор и относительно вала, и относительно маятниковых противовесов. Принцип его работы показан на рисунке 6 и по своей сути аналогичен приведенному выше описанию для схемы на рисунке 4.

При равномерном вращении вала и отсутствии крутильных колебаний (рисунок 6, а) под действием центробежных сил инерции маятниковые противовесы стремятся занять крайнее радиальное положение в пределах зазоров на пальцах. При появлении крутильных колебаний в момент положительного ускорения системы маятниковые противовесы будут стремиться сохранить прежнюю угловую скорость, а значит несколько запаздывать и тем самым препятствовать развитию колебаний (рисунок 6, б). В момент отрицательных ускорений системы маятниковые противовесы так же будут стремиться сохранить прежнюю угловую скорость, а значит несколько опережать вал и стремиться препятствовать его замедлению (рисунок 6, в).

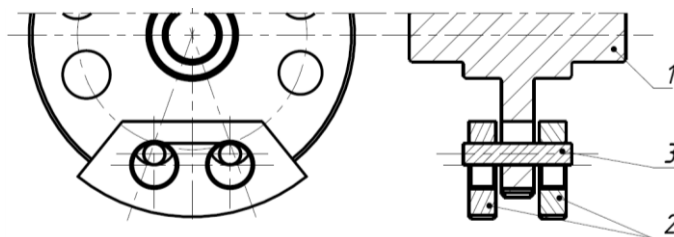


Рисунок 5 – Маятниковый антивибратор с бифилярным подвесом:
1 – вал; 2 – маятниковые противовесы; 3 – палец

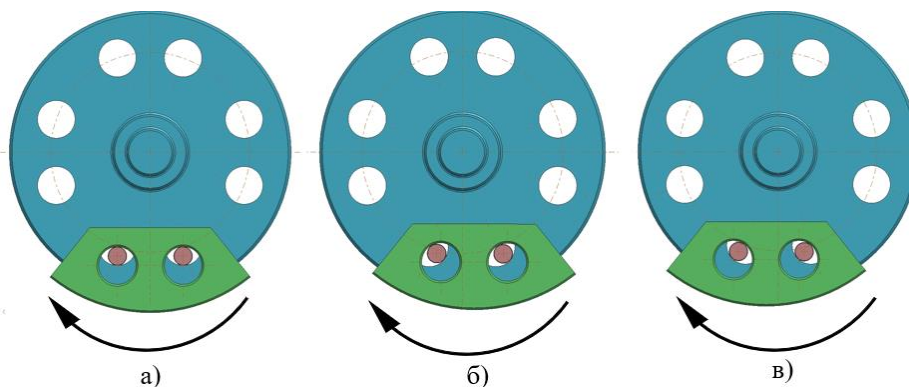


Рисунок 6 – Принцип работы маятникового антивибратора с бифилярным подвесом:
а – равномерной вращение вала; б – вращение с положительным ускорением;
в – вращение с отрицательным ускорением

У дизеля 10Д100 маятниковый антивибратор (рисунок 7) настроен на несколько собственных частот [11]. Он состоит из ступицы 1, жестко закрепленной на коленчатом валу и представляющей собой три диска А, Б, В с отверстиями. Между дисками установлены восемь маятниковых противовесов 2 на стальных пальцах 3, при этом каждая пара противовесов имеет определенный зазор между отверстием во втулке 4 и пальцами (диаметры отверстий во втулках противовесов и во втулках дисков одинаковы, разность зазоров обеспечивается за счет четырех пар пальцев разного диаметра). От выпадения стальные пальцы удерживаются стопорными планками 5, размещенными на крайних дисках А и В. Пальцы смазываются моторным маслом, поступающим от коренных шеек коленчатого вала через сверления и проточки.

Такой антивибратор предназначен для устранения четырех резонансных режимов работы, соответствующих частотам вращения коленчатого вала 470, 550, 825 и 1100 об/мин. Благодаря разным зазорам, образуемым пальцами в отверстиях, каждая пара маятниковых противовесов реагирует только на соответствующую ей одну из частот резонансных колебаний, которые при этом полностью устраняются.

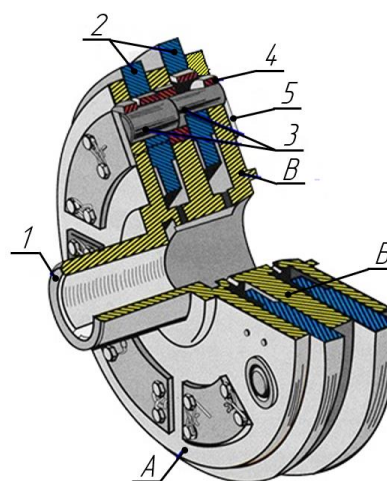


Рисунок 7 – Антивибратор дизеля 10Д100:
1 – ступица; 2 – маятниковые противовесы; 3 – пальцы;
4 – втулки; 5 – стопорные планки;
А, Б, В – диски ступицы

Аналогичным образом устроены антивибраторы дизелей 11Д45, 14Д40, Д70 [12–15].

Существуют антивибраторы, в которых маятниковые противовесы установлены непосредственно на щеках коленчатого вала (рисунок 8), что позволяет не только устранить резонансные крутильные колебания, но и разгрузить коренные опоры или улучшить уравновешенность двигателя [7].

Маятниковые антивибраторы более предпочтительны относительно других антивибраторов, так как именно они оказывают

максимальное влияние на гармонику любого порядка. При этом, требуемые конструктивные параметры таких антивибраторов можно получить теоретически [4]. В процессе эксплуатации двигателя маятниковый антивибратор почти не изнашивается, а его настройка не изменяется.

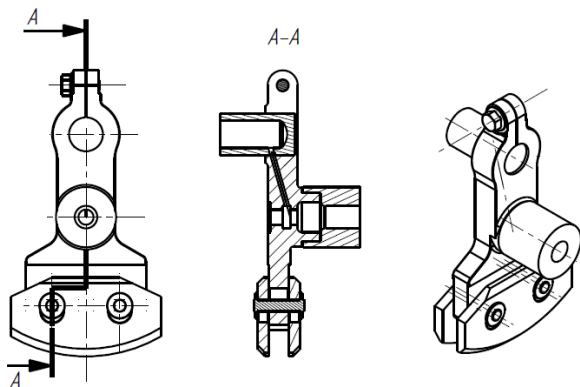


Рисунок 8 – Маятниковый антивибратор, установленный на щеке коленчатого вала

Устройства с поглощением и рассеянием энергии колебаний в виде теплоты. Процессы поглощения и рассеивания энергии реализуются за счет сил трения с соответствующим выделением теплоты, поэтому к таким устройствам принято относить демпферы трения. Конструктивно они представляют собой ступицу, жестко соединенную с коленчатым валом и маховую массу, которая может поворачиваться относительно коленчатого вала. Между ступицей и маховой массой находятся элементы или среда, которые при относительном их перемещении поглощают энергию колебаний за счет трения элементов и деформации среды, преобразуя ее в теплоту.

Развитие конструкции демпферов трения происходило по нескольким направлениям. Одними из первых появились демпферы сухого трения. На смену им пришли вязкостные (жидкостные) и упруго-фрикционные демпферы. С развитием автомобильной промышленности широкое распространение стали получать демпферы с резиновым демпфирующим элементом. В отдельных случаях возможны комбинации в одном устройстве различных подходов к поглощению энергии колебаний (жидкостные демпферы с дополнительным резиновым демпфирующим элементом).

Демпферы сухого трения. Одним из первых конструкций демпфера сухого трения предложил Ланчестер (рисунок 9) [16; 17].

На коленчатом валу 1 жестко закреплена ступица 2. Две маховые массы 3 размещены на ступице и ограничены диском 4. На маховых массах установлены фрикционные накладки 5.

Пружины 6 стремятся развести маховые массы друг относительно друга и прижать их фрикционными накладками к ступице и диску. Маховые массы друг относительно друга позиционируются с помощью центровочных пальцев 7.

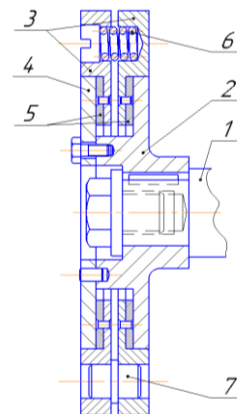


Рисунок 9 – Демпфер сухого трения Ланчестера: 1 – коленчатый вал; 2 – ступица; 3 – маховые массы; 4 – диск; 5 – фрикционные накладки; 6 – пружины; 7 – центровочные пальцы

Демпферы такого типа устанавливаются на свободном конце коленчатого вала, либо на участке вала с наибольшей амплитудой колебаний.

При возникновении резонансных колебаний происходит проскальзывание маховых масс относительно ступицы, что приводит к снижению амплитуды колебаний. При этом, важным условием работоспособности демпфера является превышение момента сил инерции маховых масс момента трения фрикционных накладок. Посредством сухого трения, энергия крутильных колебаний преобразуется в теплоту и рассеивается в окружающую среду.

Существуют варианты конструктивного исполнения демпфера сухого трения (рисунок 10) [18], в которых кроме трения торцовых поверхностей 1 маховых масс 2 и ступицы 3, дополнительное трение происходит по цилиндрическим поверхностям 4 ступицы и маховых масс, а сами массы не разжимаются, а стягиваются друг с другом посредством болтов 5 и гаек 6 через пружины 7.

Настройка таких демпферов на рабочую частоту производится за счет регулировки прижимной силы пружин и момента инерции маховых масс. Ввиду интенсивного износа трущихся поверхностей демпфера и как следствие меняющегося момента сил трения и общего коэффициента демпфирования, а также с учетом возможного попадания влаги или масла на рабочие поверхности, такие устройства не получили широкого распространения.

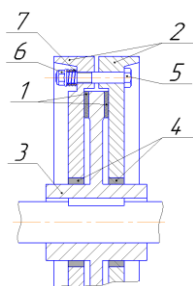


Рисунок 10 – Вариант конструкции демпфера сухого трения:

1 – торцовые поверхности трения; 2 – маховые массы; 3 – ступицы; 4 – цилиндрические поверхности трения; 5 – стяжные болты; 6 – гайки; 7 – пружины

Демпферы вязкого трения. На смену демпферам сухого трения пришли демпферы вязкого трения. Первоначальный вариант конструкции такого демпфера показан на рисунке 11. На коленчатый вал 1 жестко насажена ступица 2, маховая масса 3 может поворачиваться относительно ступицы, внутреннее пространство между ступицей и маховой массой заполнено вязкой жидкостью 4 [16].

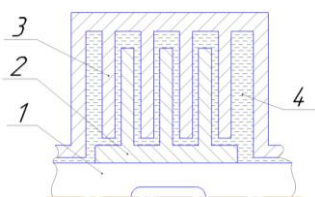


Рисунок 11 – Демпфер вязкого трения MAN:

1 – вал; 2 – ступица; 3 – маховая масса; 4 – вязкая жидкость

Принципиально эти демпферы практически не отличаются от демпферов сухого трения. При возникновении крутильных колебаний относительные угловые перемещения маховой массы и ступицы с учетом сопротивления вязкой среды ведет к снижению энергии колебаний и рассеянию ее в виде теплоты. При этом трение происходит в жидкой среде, что минимизирует износ рабочих поверхностей и позволяет значительно увеличить срок службы такого демпфера. Ввиду малости коэффициента трения между рабочими поверхностями, такая конструктивная схема демпфера не получила широкого распространения, т. к. для достижения требуемого коэффициента демпфирования необходимо было значительно увеличивать габариты демпфера.

Один из вариантов конструктивного исполнения демпфера вязкого трения показан на рисунке 12 [1].

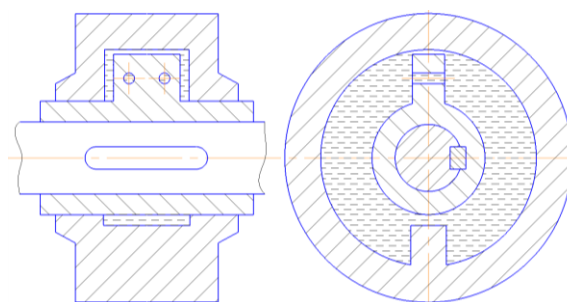


Рисунок 12 – Демпфер вязкого трения с диафрагмой

Принцип работы такого демпфера заключается в поглощении энергии колебаний за счет преодоления сопротивлений при протекании масла через отверстия в диафрагме ступицы из одной полости в другую.

В настоящее время наибольшее распространение получила конструкция демпфера вязкого трения, в которых пространство между ступицей и маховиком заполнено вязкой жидкостью (полиметилсилоксановой или силиконовой), при этом зазор между маховиком и ступицей минимален (рисунок 13) [20; 21].

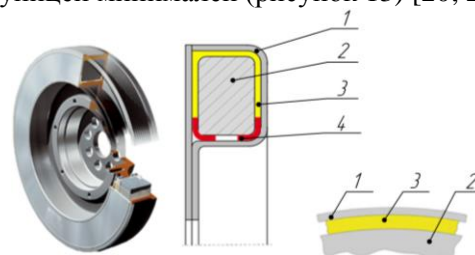


Рисунок 13 – Демпфер вязкого трения с силиконовой жидкостью:

1 – корпус; 2 – маховик; 3 – слой силиконовой жидкости; 4 – подшипник скольжения

При возникновении крутильных колебаний корпус 1, выполняющий роль ступицы, жестко закреплен на коленчатом валу, стремится сдвинуться относительно равномерно вращающегося и расположенного внутри него маховика 2. Для этого необходимо преодолеть сопротивление сил вязкого трения слоя силиконовой жидкости 3 между поверхностями корпуса и маховика. Для обеспечения гарантированной подвижности маховика устанавливается на подшипник скольжения 4. В результате, энергия колебаний поглощается внутренним трением в слоях жидкости и рассеивается в окружающую среду.

В отдельных случаях, для увеличения площади трения между маховиком и корпусом демпфера вязкого трения, форма маховика может быть выполнена по сложной траектории (рисунок 14) [6].

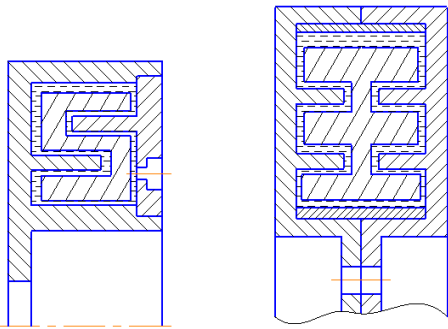


Рисунок 14 – Пример конструкции демпфера вязкого трения с маховиком сложной формы

Настройка демпферов вязкого трения производится за счет подбора зазоров в паре корпус – маховик, вязкости жидкости и момента инерции маховика. Они получили широкое распространение и применяются на многих автотракторных двигателях отечественного и зарубежного производства (Д-260, ЯМЗ-240). Силиконовая жидкость способна стабильно сохранять свои свойства продолжительное время. При наступлении предельного состояния, когда вязкость силиконовой жидкости повышается настолько, что маховик вращается с корпусом как единое целое, изменяются параметры крутильной системы, в следствие чего узлы форм колебаний размещаются на коленчатом валу.

Упруго-фрикционные демпферы. Для увеличения поглощения энергии колебаний применяют комбинированные упруго-фрикционные демпферы, в которых, маховик (маховая масса) связан со ступицей через упругие элементы (пластины, рессоры, диски и т. п.) и при этом внутренний объем заполнен жидкостью.

Демпферы такой конструкции производит фирма Geislinger (Австрия) (рисунок 15) [22]. Конструктивно демпфер представляет собой ступицу 1, жестко соединенную с коленчатым валом (рисунок 16) [23]. В роли маховой массы выступают промежуточная часть, разделенная на сегменты 2, между которыми размещены радиальные стальные пластины 3. Наружные части пластин соединены с внешним стопорным кольцом 4, а внутренние части утоплены в канавки ступицы. Боковые поверхности закрыты герметичными крышками 5. Таким образом, между внутренними частями, ступицей и пакетом пластин создаются камеры, которые заполняются маслом, поступающим под давлением из системы смазывания двигателя. Дополнительно, между ступицей и промежуточной частью имеется фрикционная связь.

При отсутствии крутильных колебаний демпфер вращается вместе с коленчатым валом как одно целое. При возникновении

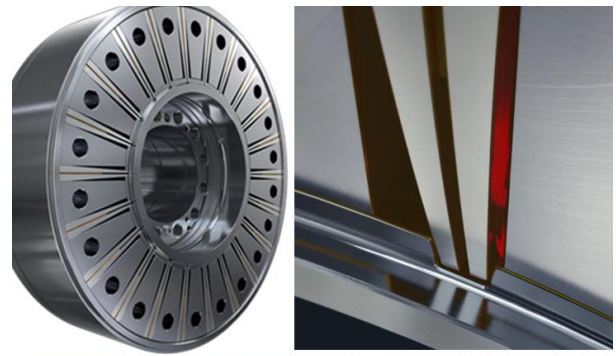


Рисунок 15 – Упруго-фрикционный демпфер фирмы Geislinger

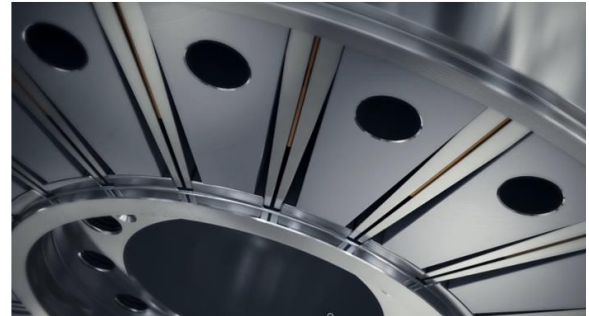


Рисунок 16 – Конструктивная схема упруго-фрикционного демпфера Geislinger:

- 1 – ступица; 2 – сегменты промежуточной части (маховой массы); 3 – радиальные пластины; 4 – стопорное кольцо; 5 – крышки

крутильных колебаний, промежуточная часть совершает перемещения относительно ступицы, при этом преодолевая силы упругости пакета пластин, силы трения и силы гидравлического сопротивления при перетекании масла в смежных камерах, что приводит к рассеиванию энергии колебаний и превращению ее в теплоту, которая в последующем отводится в систему смазывания двигателя. Настройка демпфера осуществляется за счет подбора жесткости пакета пластин, момента инерции промежуточной части (маховика) и расхода масла в полостях между ступицей и промежуточной частью.

Альтернативным вариантом конструкции упруго-фрикционного демпфера является демпфер с гильзовыми пружинами (конструкция типа Pielstick) (рисунок 17) [17; 24].

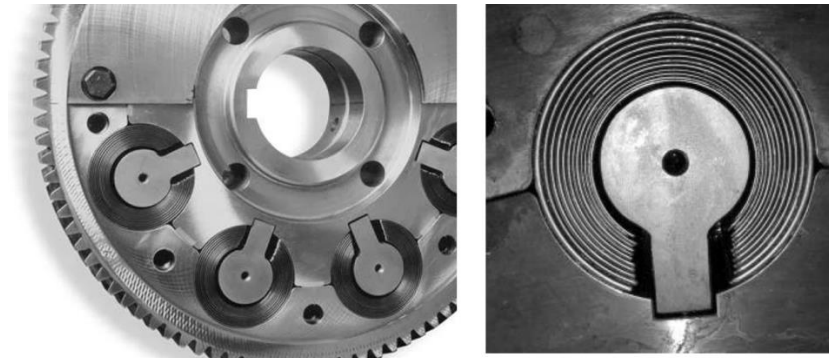


Рисунок 17 – Демпфер с гильзовыми пружинами

Упруго-фрикционные демпферы хорошо зарекомендовали себя на двигателях большой размерности (судовых, для карьерных самосвалов, дизель-генераторных установок). А сочетание в себе свойств antivibratora и фрикционного демпфера обеспечивает высокий коэффициент демпфирования в широком диапазоне частот вращения.

Демпферы с резиновым демпфирующим элементом. Наибольшее распространение такие демпферы получили в автомобильных двигателях. По принципу действия они схожи с демпферами сухого и вязкого трения с той лишь разницей, что жестко связанная с коленчатым валом ступица 1 (рис. 18) демпфера соединена с маховой массой 2 посредством слоя резины 3 [4]. При возникновении крутильных колебаний происходит относительное перемещение маховой массы и ступицы, при этом за счет сил внутреннего трения в резиновом слое, часть энергии колебаний будет рассеиваться в окружающую среду в виде теплоты.

Настройка демпфера осуществляется за счет подбора жесткости резинового слоя и момента инерции маховой массы.

Зачастую такие демпферы выполняют заодно со шкивом привода вспомогательных агрегатов двигателя (рисунок 19), в которых сам шкив 1 выполняет роль маховой массы и соединен со ступицей 2 посредством резинового слоя 3 [20; 25].

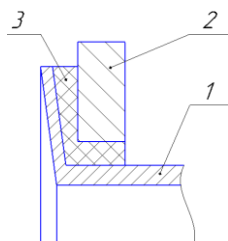


Рисунок 18 – Конструктивная схема демпфера с резиновым демпфирующим элементом:
1 – ступица; 2 – маховая масса; 3 – слой резины

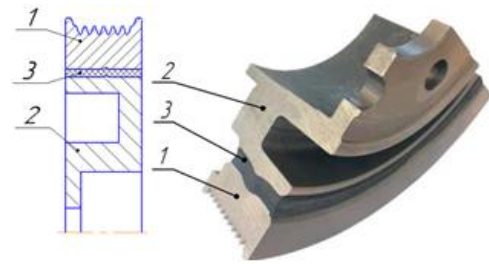


Рисунок 19. Демпфер с резиновым демпфирующим элементом в виде шкива коленчатого вала:
1 – шкив (маховая масса); 2 – ступица;
3 – резиновый слой

Демпферы с резиновым демпфирующим элементом относительно других типов демпферов имеют небольшую массу, просты конструктивно и технологичны. Резиновый слой подвержен агрессивному влиянию горючесмазочных материалов, что приводит к изменению его свойств и последующему разрушению.

Комбинированные демпферы. С учетом постоянного развития автомобильной промышленности и соответствующего увеличения удельных показателей двигателей, расширения диапазона рабочих частот вращения, а также повышения требований к наличию дополнительных потребителей на транспортном средстве, обеспечивающих удобство и повышенный комфорт при эксплуатации (система отопления и кондиционирования, гидравлическая система управления подвеской, система рулевого управления и т. д.) современные производители применяют комбинированные демпферы – в одном узле совмещены демпфер вязкого трения и демпфер с резиновым демпфирующим элементом (рисунок 20) [26].

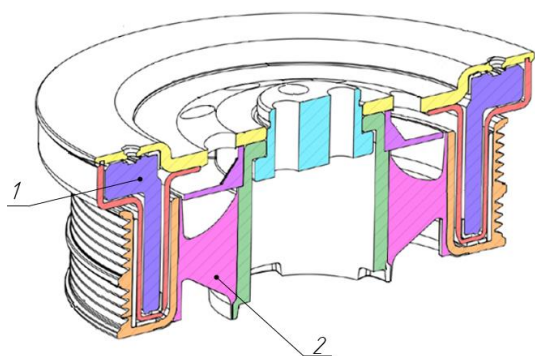


Рисунок 20 – Комбинированный демпфер:

1 – составляющая вязкого трения; 2 – резиновый элемент

Составляющая вязкого трения 1 демпфера способствует снижению амплитуды колебаний самого двигателя, а резиновый элемент 2 защищает коленчатый вал от пульсирующих нагрузок от привода вспомогательных агрегатов.

Заключение

Устройства снижения амплитуды крутильных колебаний являются неотъемлемой составляющей современных силовых установок, что позволяет продлить срок службы двигателя и улучшить его технико-экономические показатели.

Историческое развитие таких устройств происходило от простейших antivibrаторов и привело к созданию сложных упруго-фрикционных демпферов. В автотракторных двигателях широко распространены демпферы вязкого трения и демпферы с резиновым демпфирующим элементом. На двигателях большой размерности (судовых, для карьерных самосвалов, дизель-генераторных установок) наиболее часто используются упруго-фрикционные демпферы.

При выборе типа устройства, целесообразно рассматривать варианты без поглощения энергии, которые конструктивно проще, долговечнее (отсутствуют трущиеся элементы) и не требуют значительных затрат при эксплуатации.

Применение того или иного вида устройств обуславливается назначением двигателя, требованиями к его надежности, долговечности и стоимости.

Литература

1. Конструирование двигателей внутреннего сгорания: Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» направления подготовки «Энергомашиностроение» / Н. Д. Чайнов, [и др.]; под ред. Н. Д. Чайнова. – М. : Машиностроение, 2008. – 496 с.

2. Research on torsional vibration reduction of crankshaft in off-road diesel engine by simulation and experiment / Sun L., [and etc.] // *Journal of Vibroengineering*. – 2018. – № 20(1). – С. 345–357.

3. Никишин, В. Н. Формирование и обеспечение показателей качества автомобильных дизелей на стадии проектирования и доводки : автореферат дис. ... д-ра техн. наук : 05.04.02, 01.02.06 / В. Н. Никишин : Московский государственный технический университет им. Баумана. – Москва, 2007. – 32 с.

4. Маслов, Г. С. Расчеты колебаний валов. Справочник / Г. С. Маслов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980 – 151 с.

5. Терских, В. П. Крутильные колебания валопровода силовых установок: Исследования и методы расчета : в 4 т. / В. П. Терских. – Ленинград : Судостроение, 1969–1970. – Т. 4: Вопросы гашения колебаний, экспериментального исследования их и примерные расчеты. – 275 с.

6. Чистяков, В. К. Динамика поршневых и комбинированных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие для машиностроительных вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / В. К. Чистяков. – М. : Машиностроение, 1989. – 256 с.

7. Дизели. Справочник / В. А. Ваншейдт [и др.] : под ред. В. А. Ваншейдта – Л. : «Машиностроение», 1964. – 600 с.

8. Попык, К. Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей: учеб. / К. Г. Попык. – 2-е изд. – М. : Высш. шк., 1970. – 328 с.

9. Яманин, А. И., Жаров, А. В. Динамика поршневых двигателей: учеб. пособие / А. И. Яманин, А. В. Жаров. – М. : Машиностроение, 2003. – 464 с.

10. Кожевников, С. В. Механизмы. Справочник. / С. В. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин; под ред. С. Н. Кожевникова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : «Машиностроение», 1976. – 784 с.

11. Аврунин, А. Г. Тепловозные дизели 2Д10 и 10Д100. Техническое обслуживание / А. Г. Аврунин. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : «Транспорт», 1970. – 320 с.

12. Пассажирский тепловоз ТЭП60 / Жилин Г. А. [и др.]. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : «Транспорт», 1976. – 376 с.

13. Дизель 14Д40: техническое описание и инструкция по эксплуатации / СССР. – Москва : Внешторгиздат, 1988. – 206 с.

14. Дизель 14Д40 : альбом иллюстраций к техническому описанию и инструкции по эксплуатации / СССР, Энергомашэкспорт. – Москва : Внешторгиздат, 1978. – 46 с.

15. Синенко, Н. П. Тепловозные дизели типа Д70 / Н. П. Синенко, Е. В. Турчак, И. И. Резник. – М. : Транспорт, 1977. – 216 с.
16. Ефремов, Л. В. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий / Л. В. Ефремов. – СПб. : Наука, 2007. – 276 с.
17. Homik, W. Diagnostics, maintenance and regeneration of torsional vibration dampers for crankshafts of ship diesel engines / W. Homik // Polish Maritime Research. – 2010. – № 1(64). – Vol. 17. – pp. 62–68.
18. Иосилевич, Г. Б. Прикладная механика / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Г. С. Маслов; под ред. Г. Б. Иосилевича. – М.: Высш. Шк., 1989. – 351 с.
19. Железко, Б. Е. Основы теории и динамики автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для вузов / Б. Е. Железко. – Минск : Выш. Школа, 1980. – 304 с.
20. Гоц. А. Н. Крутильные колебания коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие / А. Н. Гоц. – Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 200 с.
21. Venczel, M. Temperature- Dependent Viscosity Model for Silicone Oil and Its Application in Viscous Dampers / M. Venczel, G. Bognár, Á. Veress // Processes. – 2021. – № 9. – 331 p.
22. Работоспособность механических демпферов крутильных колебаний судовых двигателей внутреннего сгорания / Сибряев К. [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 1. – С. 35–41.
23. Damper Catalog Version 15.9. Geislinger GmbH, 5300 Hallwang, Austria, August, 2020. – 50 p.
24. Wojciech, H. Torsional vibration silencers used in vessels propulsion systems / H. Wojciech // Scientific Journals Zeszyty Naukowe. Maritime University of Szczecin. – 2014. – № 40 (112). – P. 9–16.
25. Dynamics of Torsional Vibration Damper (TVD) pulley, implementation of a rubber elastic behavior, simulations and experiments / C. A. F. Silva [et al.] // Mechanism and Machine Theory. – 2019. – Vol. 142. – P. 1–21.
26. Venczel, M. Past and Future Practical Solutions for Torsional Vibration Damping in Vehicle Industry / M. Venczel, Á. Veress, Z. Peredy, // Periodica Polytechnica Transportation Engineering. – 2022. – № 50(4). – P. 318–329.

NIKISHEV Alexander A.,
Head of the Chief Designer's Engineering Department
E-mail: mmz.ugk.dsn@gmail.com

PETRUCHENKO Alexander N., Ph. D. in Engineering, Associate Professor,
Higher Senior Officer of the Chief Designer's Department
E-mail: mmz.ugk.dsn@gmail.com

PREDKO Andrey V.,
Higher Senior Officer of the Chief Designer's Department
E-mail: mmz.ugk.dsn@gmail.com

OJSC Holding Managing Company «MINSK MOTOR PLANT», Minsk, Republic of Belarus

Received 15.09.2023

SPECIAL DEVICES FOR REDUCING THE AMPLITUDE OF TORSIONAL VIBRATIONS CRANKSHAFTS

Torsional vibrations are observed in all mechanisms that involve rotational movement of shafts. For internal combustion engines, the problem of torsional vibrations of the crankshaft is relevant, since significant vibrations prevent its fatigue failure. In addition, torsional vibrations negatively affect engine performance, efficient fuel consumption, oil and sugar consumption, which leads to mechanical losses, noise and vibration.

Reducing the amplitude of torsional vibrations is possible by changing the system parameters and introducing additional special devices, the operation of which is based on one of the following results: balancing of disturbing moments, formation of frequency dynamics, distribution of vibration energy and their determination.

The principles and special designs of devices without energy sharing (antivibrators with deformable elements, pendulum antivibrators) and with energy sharing (dry friction dampers, viscous friction dampers, elastic-friction dampers, dampers with a rubber damping element, combined dampers) used to reduce increasing torsional vibrations of the crankshafts.

Key words: *torsional vibrations, crankshaft, vibration amplitude, equivalent torsional system, pendulum antivibrator, flywheel mass, dry friction damper, viscous friction dampers.*

References

1. Konstruirovaniye dvigateley vnutrennego sgoraniya: Uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy. obuchayushchikhsya po spetsialnosti «Dvigateli vnutrennego sgoraniya» napravleniya podgotovki «Energomashinostroyeniye» / N. D. Chaynov, [i dr.]; pod. red. N. D. Chaynova. – M. : Mashinostroyeniye, 2008. – 496 s.

2. Research on torsional vibration reduction of crankshaft in off-road diesel engine by simulation and experiment / Sun L., [and etc.] // Journal of Vibroengineering. – 2018. – № 20(1). – C. 345–357.

3. Nikishin, V. N. Formirovaniye i obespecheniye pokazateley kachestva avtomobilnykh dizeley na stadii proyektirovaniya i dovodki :

avtoferat dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.04.02. 01.02.06 / V. N. Nikishin : Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet im. Baumana. – Moskva, 2007. – 32 c.

4. Maslov, G. S. Raschety kolebaniy valov. Spravochnik / G. S. Maslov. – 2-e izd.. pererab. i dop. – M. : Mashinostroyeniye, 1980 – 151 c.

5. Terskikh, V. P. Krutilnyye kolebaniya valoprovoda silovykh ustanovok: Issledovaniya i metody rascheta : v 4 t. / V. P. Terskikh. – Leningrad : Sudostroyeniye. 1969–1970. – T. 4: Voprosy gasheniya kolebaniy. eksperimentalnogo issledovaniya ikh i primernyye raschety. – 275 s.

6. Chistyakov, V. K. Dinamika porshnevykh i kombinirovannykh dvigateley vnutrennego sgoraniya: ucheb. posobiye dlya mashinostroytelnykh vuzov po spetsialnosti «Dvigateli vnutren-

nego sgoraniya» / V. K. Chistyakov. – M. : Mashinostroyeniye, 1989. – 256 s.

7. Dizeli. Spravochnik / V. A. Vansheydt [i dr.] : pod red. V. A. Vansheydta – L. : «Mashinostroyeniye», 1964. – 600 s.

8. Popyk, K. G. Dinamika avtomobilnykh i traktornykh dvigateley: ucheb. / K. G. Popyk. – 2-e izd. – M.: Vyssh. shk., 1970. – 328 s.

9. Yamanin, A. I. Dinamika porshnevnykh dvigateley: ucheb. posobiye / A. I. Yamanin, A. V. Zharov. – M. : Mashinostroye-niye, 2003. – 464 s.

10. Kozhevnikov, S. V. Mekhanizmy. Spravochnik / S. V. Kozhevnikov, Ya. I. Esipenko, Ya. M. Raskin; pod red. S. N. Kozhevnikova. – 4-e izd., pererab. i dop. – M. : «Mashinostroyeniye», 1976. – 784 s.

11. Avrunin, A. G. Teplovoznnyye dizeli 2D10 i 10D100. Tekhnicheskoye obsluzhivaniye / A. G. Avrunin. – 3-e izd. pererab. i dop. – M. : «Transport», 1970. – 320 s.

12. Passazhirskiy teplovoz TEP60 / Zhilin G. A. [i dr.]. – 3-e izd. pererab. i dop. – M. : «Transport», 1976. – 376 s.

13. Dizel 14D40: tekhnicheskoye opisaniye i instruktsiya po ekspluatatsii / SSSR. – Moskva : Vneshtorgizdat, 1988. – 206 s.

14. Dizel 14D40 : albom illyustratsiy k tekhnicheskomu opisaniyu i instruktsii po ekspluatatsii / SSSR. Energo-masheksport. – Moskva : Vneshtorgizdat, 1978. – 46 s.

15. Sinenko, N. P. Teplovoznnyye dizeli tipa D70 / N. P. Sinenko, E. V. Turchak, I. I. Reznik. – M. : Transport, 1977. – 216 s.

16. Efremov, L. V. Teoriya i praktika issledovaniy krutilnykh kolebaniy silovykh ustanovok s primeneniyyem kompyuternykh tekhnologiy / L. V. Efremov – SPb. : Nauka, 2007. – 276 s.

17. Homik, W. Diagnostics, maintenance and regeneration of torsional vibration dampers for crankshafts of ship diesel engines / W. Homik // Polish Maritime Research, – 2010. – № 1(64). – Vol. 17. – pp. 62–68.

18. Iosilevich, G. B. Prikladnaya mekhanika / G. B. Iosilevich, G. B. Stroganov, G. S. Maslov; pod red. G. B. Iosilevicha. – M.: Vyssh. Shk., 1989. – 351 s.

19. Zhelezko, B. E. Osnovy teorii i dinamiki avtomobilnykh i traktornykh dvigateley: ucheb. posobiye dlya vuzov / B. E. Zhelezko. – Minsk : Vysh. Shkola, 1980. – 304 c.

20. Gots, A. N. Krutilnyye kolebaniya kolenchatykh valov avtomobilnykh i traktornykh dvigateley: ucheb. posobiye / A. N. Gots. – Vladimir. gos. un-t. – Vladimir : Izd-vo Vla-dim. gos. un-ta, 2008. – 200 s.

21. Venczel, M. Temperature- Dependent Viscosity Model for Silicone Oil and Its Application in Viscous Dampers / M. Venczel, G. Bognár, Á. Veress // Processes. – 2021. – № 9. – 331 p.

22. Rabotosposobnost mekhanicheskikh dempferov krutilnykh kolebaniy sudovykh dvigateley vnutrennego sgoraniya / Sibryayev K. [i dr.] // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya, – 2022. – № 1. – S. 35–41.

23. Damper Catalog Version 15.9. Geislinger GmbH, 5300 Hallwang, Austria, August, 2020. – 50 p.

24. Wojciech, H. Torsional vibration silencers used in vessels propulsion systems / H. Wojciech // Scientific Journals Zeszyty Naukowe. Maritime University of Szczecin, – 2014. – № 40 (112). – P. 9–16.

25. Dynamics of Torsional Vibration Damper (TVD) pulley, implementation of a rubber elastic behavior, simulations and experiments / C. A. F. Silva [et al.] // Mechanism and Machine Theory. – 2019. – Vol. 142. – P. 1–21.

26. Venczel, M. Past and Future Practical Solutions for Torsional Vibration Damping in Vehicle Industry / M. Venczel, Á. Veress, Z. Peredy, // Periodica Polytechnica Transportation Engineering, – 2022. – № 50(4). – P. 318–329.

КАПСКИЙ Д. В., д-р техн наук, доц.,
заместитель Председателя ВАК¹
E-mail: d.kapsky@gmail.com

БОГДАНОВИЧ С. В., канд. техн. наук, доц.,
зав. кафедрой «Транспортные системы и технологии»²
E-mail: bsw001@gmail.com

ЗАЙЦЕВА И. С.
инженер кафедры «Транспортные системы и технологии»²

¹Высшая аттестационная комиссия Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 12.07.2023

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЫКАНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Целью статьи является исследование и улучшение безопасности дорожного движения и инфраструктуры дорог. В работе анализируются статистические данные о дорожно-транспортных происшествиях за последние годы, выявляются ключевые факторы, способствующие возникновению аварий. Среди них состояние дорожного покрытия, видимость, интенсивность движения, освещение, и другие. Авторы особое внимание уделяют применению систем инженерного управления и риск-менеджмента для повышения безопасности дорожного движения. В рамках исследования предлагается использование нечеткой логики и системы FisPro для анализа и прогнозирования дорожной ситуации. Применение этих методов позволяет учесть сложность и многомерность проблемы безопасности дорожного движения, учитывая множество взаимосвязанных параметров. В работе подчеркивается, что для эффективного улучшения безопасности дорожного движения необходим комплексный подход, включающий учет всех факторов, влияющих на дорожную ситуацию. Такой подход позволяет не только реагировать на возникающие проблемы, но и прогнозировать возможные риски, своевременно предпринимая меры для их устранения.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, примыкания дорог, опасные участки дорог, системы управления, нечеткая логика, система FisPro.

Введение

В Республике Беларусь более 10 лет наблюдается снижение количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с пострадавшими. Вместе с тем, начиная с 2017–2018 годов отмечается ухудшение показателей. Фиксируется рост общего количества ДТП, рост числа погибших, раненых, увеличение количества ДТП в отдельных видах, а также в преобладающих причинах их совершения. Основными видами ДТП в Республике Беларусь в течение ряда лет являются наезды на пешеходов, опрокидывания, столкновения транспортных средств, столкновения на пересечениях и поворотах дорог (рисунок 1), наезды на велосипедистов. В общей сложности на них приходится более 70 % всех происшествий и пострадавших в них.

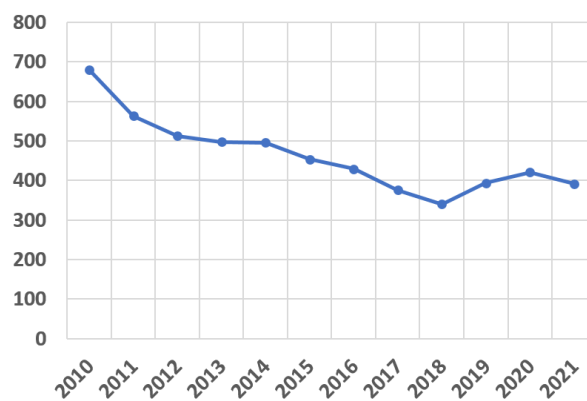


Рисунок 1 – Изменение количества ДТП с пострадавшими в результате столкновения на пересечении дорог или повороте

Дорожно-транспортный травматизм остается одной из острых социально-экономических

проблем в Республике Беларусь, требующей активизации усилий государства и общества в воздействии на ключевые факторы аварийности, оказывающие влияние на гибель людей в ДТП. Результаты анализа опыта экономически развитых государств свидетельствуют о том, что ДТП можно и следует предупреждать, а если все же происшествие случается, то максимально снижать его негативные последствия для жизни и здоровья граждан. Для Республики Беларусь, где автомобилизация в последние десятилетия развивалась ускоренными темпами это является одной из важнейших задач. Как показывают исследования и опыт, смертельные случаи и травматизм в дорожно-транспортных происшествиях можно сократить как минимум на 40–50 % [1; 2].

Для эффективного управления результатами безопасности на дорогах требуются систематические и плановые меры реагирования, а также укрепление всей системы управления безопасностью дорожного движения. Внедрять такие меры в настоящее время позволяет новая «Концепция обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь», которая принята постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 мая 2023 г. № 32.

В соответствии с Концепцией деятельность в сфере обеспечения БДД основывается на принципах безопасного системного подхода:

- безопасной дорожно-транспортной инфраструктуре;
- безопасной скорости;
- безопасных транспортных средствах;
- безопасных пользователях дорог;
- эффективного оказания помощи после ДТП [3].

Одной из мер, принимаемых в отношении дорожно-транспортной инфраструктуры в соответствии с Концепцией является оценки риска движения по автомобильным дорогам.

Цель исследования

Данные исследований показывают, что дорожная инфраструктура и дорожное окружение являются фактором, который способствует совершению аварии примерно в 30 % несчастных случаев, приводящих к гибели людей [4; 5].

Очевидно, что повышение безопасности автомобильных дорог может произойти только в результате дорожной деятельности – мероприятий по эксплуатации дорог, их ремонту или реконструкции. При этом, чтобы проводить такие мероприятия необходимо предварительно выявить опасные участки на сети дорог. Учитывая значительную протяженность сети дорог, такая деятельность должна осуществ-

ляться на регулярной основе, а определение опасности того или иного участка выполняться с использованием программного обеспечения.

В Республике Беларусь уже почти 30 лет осуществляется диагностика республиканских автомобильных дорог и назначение на ее основе необходимых ремонтных мероприятий. Однако в процессе диагностики определяется только транспортно-эксплуатационное состояние дорог, а выявление опасных участков не производится. Как следствие, ремонтные мероприятия направлены в первую очередь на дорожные покрытия. По этой причине методика и алгоритмы, позволяющие интегрировать данные о степени опасности участков автомобильных дорог в систему управления состоянием дорожных покрытий (СУСП) не разработаны. Между тем, в других странах исследования, направленные на включение данных об опасности участков автомобильных дорог в СУСП, ведутся достаточно давно [6; 7]. Здесь следует пояснить, что наша трактовка понятия «опасный участок» отличается от закрепленной в действующих технических нормативно-правовых актах. В ТКП 586-2016 «Автомобильные дороги. Порядок проведения работ по организации дорожного движения при содержании» приведено такое определение: «Опасный участок автомобильной дороги: участок, на котором уровень загрузки автомобильной дороги движением превышает расчетное значение и (или) на котором итоговый коэффициент аварийности превышает критические значения по уровню обеспечения безопасности дорожного движения». Поскольку Концепция опирается на безопасный системный подход, с учетом этого следует рассматривать и понятие опасности участков дорог. Опасный участок дороги в контексте безопасного системного подхода может быть определен как участок дорожной сети, где вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий высока и, в случае их возникновения, вероятность серьезных травм или смертельных исходов превышает приемлемые пределы. Важно отметить, что безопасный системный подход признает, что люди могут допускать ошибки, и поэтому стремится к созданию дорожной инфраструктуры, которая минимизирует последствия этих ошибок. Это включает в себя стратегии по улучшению дорожного покрытия, обзорности, безопасности перекрестков и т. д. В этом контексте, опасный участок дороги – это участок, который не отвечает этим критериям безопасности, и поэтому требует принятия мер по улучшению. То есть, опасным является участок

в первую очередь с точки зрения восприятия его водителем.

Целью настоящей статьи является рассмотрение возможного подхода к оценке опасности примыканий на автомобильных дорогах общего пользования Республики Беларусь категорий II и ниже для последующего использования полученных данных в СУСП.

Определение опасности примыканий

Если исходить из общих принципов разработки СУСП, то для оценки опасности примыканий на автомобильных дорогах в одном уровне необходимо выполнить следующие шаги:

1. Определить набор критериев, которые позволят оценить степень опасности примыкания. Критерии могут включать в себя геометрические характеристики, скорость движения транспортных средств, наличие пешеходных переходов, канализирование примыкания, видимость и т. д.

2. Необходимо собрать данные о выбранных критериях на каждом примыкании, которые будут использоваться для оценки степени опасности.

3. Произвести оценку каждого примыкания на основании набора критериев. Для этого, например, можно использовать метод взвешенной суммы критериев (МВСК), где каждый критерий имеет свой вес.

4. Провести ранжирование примыканий по уровню опасности, от самых опасных до наименее опасных. Это позволит сфокусировать внимание на наиболее критических участках при планировании мер по обеспечению безопасности дорожного движения.

5. Регулярно обновлять данные и повторять оценку уровня опасности. Это поможет отслеживать изменения уровня опасности и принимать соответствующие меры, чтобы снизить риск возникновения ДТП.

В приведенном перечне шаг 3 является наиболее сложным. Разработчики СУСП чаще всего предпочитают использовать обобщенный показатель состояния вместо набора отдельных показателей. Этим значительно упрощаются алгоритмы расчетов СУСП. По этой причине свертывание множества критериев, характеризующих степень опасности примыкания в единственный критерий, является логичным шагом. МВСК хоть и является одним из наиболее известных и часто используемых методов свертывания, во-первых, не является единственным возможным, а, во-вторых, имеет ряд недостатков. Например, значение взвешенной

суммы критериев как правило не имеет содержательного смысла, использование постоянных коэффициентов значимости означает, что соотношение критериев по важности одно и то же при любых значениях критериев [8].

Исследования по выбору метода свертывания критериев, оценивающих опасность автомобильной дороги или ее отдельного участка, ни в Республике Беларусь, ни в странах бывшего СССР не ведутся.

В качестве одного из возможных методов, позволяющих оценить опасность примыкания, рассмотрим метод, основанный на использовании лингвистических переменных и нечеткой логики. В пользу использования метода может свидетельствовать то, что он максимально приближен к опыту человека, оценивающего участок, а также имеет следующие преимущества:

- позволяет учесть неопределенность и нечеткость во входных данных;
- позволяет формализовать и интегрировать экспертные знания в виде правил и функций принадлежности, что повышает достоверность и эффективность оценки опасности примыканий;
- позволяет учитывать множество частных критериев;
- разработанный алгоритм на основе нечеткой логики может быть достаточно просто автоматизирован и применен на практике.

Подробно останавливаться на теории вопроса нет необходимости, поскольку лингвистические переменные и нечеткая логика используются при решении задач в области безопасности дорожного движения, управления состоянием покрытий и им подобных достаточно давно [9; 10; 11; 12; 13].

Процесс расчета обобщенного показателя опасности примыкания состоит из пяти этапов:

1. Определение и интерпретация входных (измеряемых) переменных и их пределов.
2. Определение и интерпретация выходных (вычисляемых) переменных и их пределов.
3. Определение функции принадлежности для каждой входной и выходной переменной.
4. Составление базы правил, которая будет отвечать за управляющие операции.
5. Переход от нечеткости к конкретным числовым значениям.

Приведенные ниже примеры использования переменных и их пределов не являются окончательными, могут и должны корректироваться и уточняться и в основном иллюстрируют предлагаемый подход.

Для расчета нами использовано свободно распространяемое программное обеспечение

для проектирования, разработки и тестирования систем нечеткого вывода FisPro.

В качестве входных переменных были использованы интенсивность движения по участку дороги (авт/сут), боковая видимость пересечения с основной дороги (м), а также показатель, названный нами «распознаваемость» (м), под которым понимается возможность увидеть с места водителя поверхность покрытия примыкающей дороги или направляющие устройства, установленные на закруглении примыкающей дороги и понять, что это именно примы-

кание дорог. Так, на рисунке 2 определенная путем обработки видеосъемки распознаваемость примыкания составляет 175 м, на рисунке 3 – 70 м.

Для лингвистической переменной «интенсивность» зададим следующие термы в соответствии с таблицей 1. Термы для лингвистической переменной «видимость» представлены в таблице 2, а термы для лингвистической переменной «распознаваемость» – в таблице 3. В качестве выходной используется одна переменная «опасность примыкания» (таблица 4).

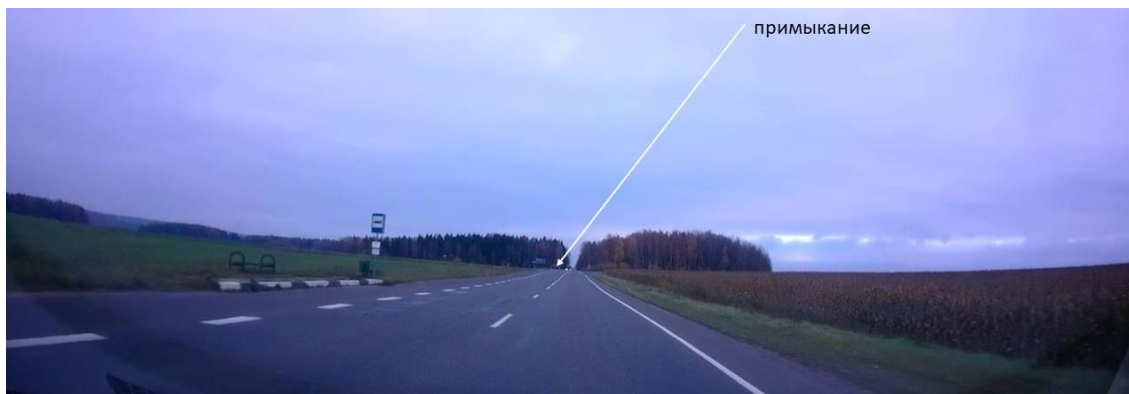


Рисунок 2 – Примыкание слева по ходу движения, распознаваемость 175 м

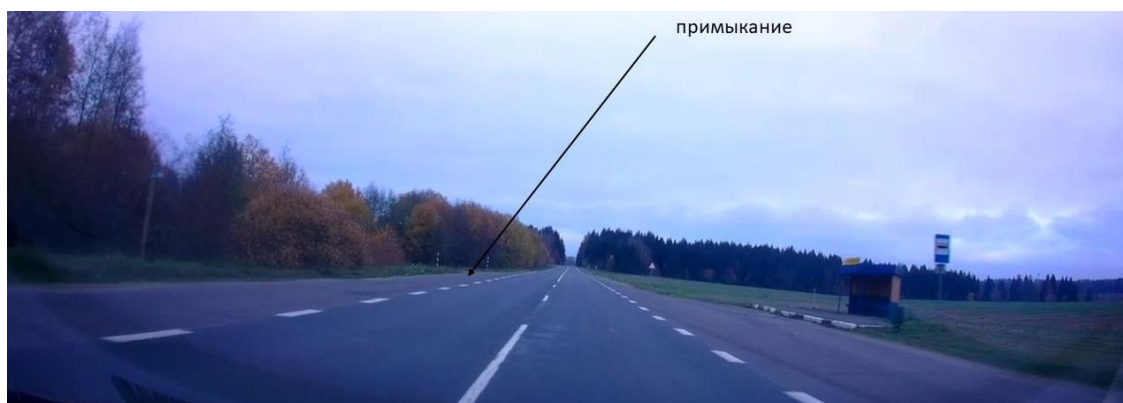


Рисунок 3 – Примыкание слева по ходу движения, распознаваемость 70 м

Таблица 1 – Термы лингвистической переменной «интенсивность»

Название терма	Тип функции принадлежности	Диапазон изменения
Низкая	Трапецидальная	[50, 500, 800, 1500]
Средняя	Трапецидальная	[1000, 2000, 5000, 7000]
Высокая	Трапецидальная	[4000, 6000, 8000, 10000]

Таблица 2 – Термы лингвистической переменной «видимость»

Название терма	Тип функции принадлежности	Диапазон изменения
Плохая	Треугольная	[10, 80, 120]
Средняя	Треугольная	[80, 120, 220]
Хорошая	Треугольная	[180, 260, 350]

Таблица 3 – Термы лингвистической переменной «распознаваемость»

Название терма	Тип функции принадлежности	Диапазон изменения
Плохая	Треугольная	[10, 50, 70]
Средняя	Треугольная	[60, 90, 120]
Хорошая	Треугольная	[10, 150, 220]

Таблица 4 – Термы выходной лингвистической переменной «распознаваемость»

Название термина	Тип функции принадлежности	Диапазон изменения
Низкая	Треугольная	[0, 0,1, 0,3]
Средняя	Треугольная	[0,2, 0,5, 0,7]
Высокая	Треугольная	[0,5, 0,8, 1,0]

Следует отметить, что с увеличением числа входных переменных увеличивается количество управляющих правил. Для трех входных и одной выходной переменной с минимальным

количеством термов для каждой переменной окно редактора базы знаний в программе FisPro выглядит следующим образом (рисунок 4).

Rule	Active	IF Видимость	AND Интенсивность	AND Распознаваемость	THEN Опасность
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Высокая	Плохая	Высокая
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Средняя	Плохая	Высокая
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Низкая	Плохая	Средняя
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Высокая	Плохая	Средняя
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Средняя	Плохая	Средняя
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Низкая	Плохая	Низкая
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Высокая	Плохая	Средняя
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Средняя	Плохая	Низкая
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Низкая	Плохая	Низкая
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Высокая	Средняя	Высокая
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Средняя	Средняя	Высокая
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Низкая	Средняя	Низкая
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Высокая	Плохая	Средняя
14	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Средняя	Средняя	Низкая
15	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Низкая	Плохая	Низкая
16	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Высокая	Плохая	Низкая
17	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Высокая	Хорошая	Высокая
18	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Средняя	Хорошая	Средняя
19	<input checked="" type="checkbox"/>	Плохая	Низкая	Хорошая	Низкая
20	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Высокая	Хорошая	Средняя
21	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Средняя	Хорошая	Низкая
22	<input checked="" type="checkbox"/>	Средняя	Низкая	Хорошая	Низкая
23	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Высокая	Хорошая	Низкая
24	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Средняя	Хорошая	Низкая
25	<input checked="" type="checkbox"/>	Хорошая	Низкая	Хорошая	Низкая

Рисунок 4 – Окно редактора базы знаний

Далее можно переходить к этапу логического вывода. В качестве примера рассмотрим два примыкания на республиканской автомобильной дороге Р-65 Заславль – Дзержинск – Озеро.

Для первого примыкания справа на рисунке 5 определенная обработкой видеосъемки видимость составляет 60 м, а распознаваемость – 40 м.



Рисунок 5 – Примыкание справа, видимость 60 м, распознаваемость 40 м

Для второго примыкания слева на рисунке 6 видимость составляет 110 м, распознаваемость 66 м.

Понятно, что в общем случае опасность примыкания при движении в прямом и обрат-

ном направлении может различаться, и обследование необходимо проводить для каждого направления в отдельности. Кроме этого, диапазон изменения термов «видимость» и «распознаваемость» зависит от скорости движения,

которая, в свою очередь, зависит от состояния покрытия, а в конечном итоге от его ровности. Также опасность примыканий будет различной в светлое и темное время суток, а также в зимний и летний период. Это означает, что опасность примыканий меняется во времени, как и транспортно-эксплуатационные характеристики дороги и для определения опасности необходимо выполнять регулярное обследование, как минимум с той же частотой, что и диагно-

стику дорог. На рисунке 6 показана в первом приближении связь между переменными для определения опасности примыкания. Появление среди показателей сцепления объясняется его влиянием на расстояние для остановки транспортного средства [14], что, в свою очередь, влияет на диапазон изменения термов для переменных «видимость» и «распознаваемость».



Рисунок 5 – Примыкание слева, видимость 110 м, распознаваемость 66 м

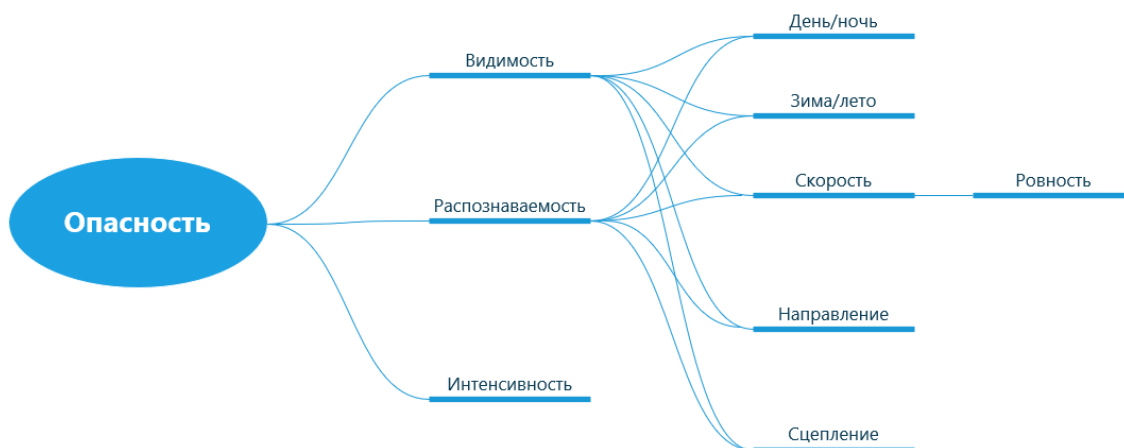


Рисунок 6 – Переменные для определения опасности примыкания

Форма выходной кривой для примыканий при фиксированных значениях видимости и распознаваемости представлены на рисунках 7 и 8.

При среднегодовой среднесуточной интенсивности движения 5726 авт/сут, имеющей места на данном участке дороги, опасность пересечений составит 0,8 и 0,6 соответственно

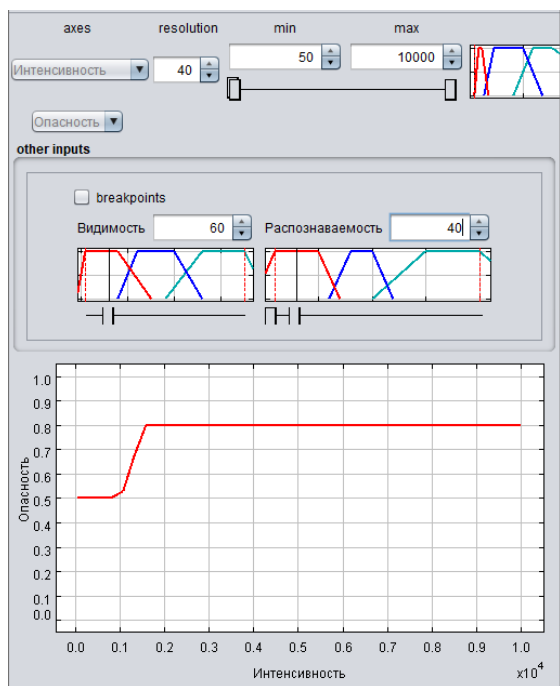


Рисунок 7 – Выходная кривая для первого примыкания

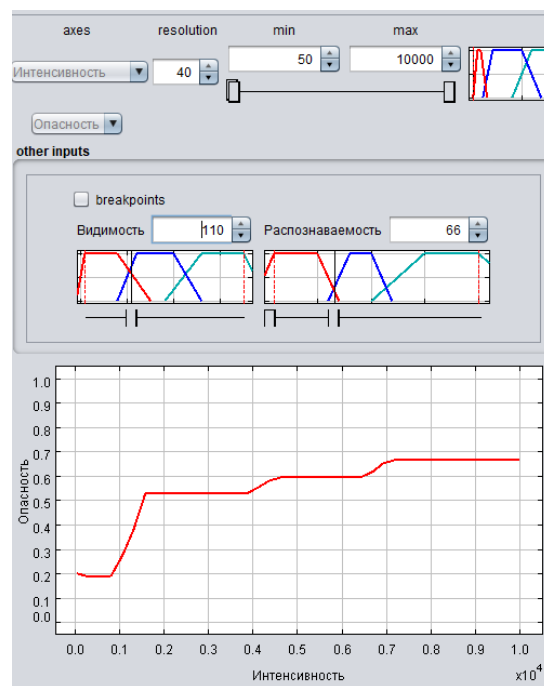


Рисунок 8 – Выходная кривая для второго примыкания

Заключение

Использование нечеткой логики для определения обобщенного показателя опасности примыкания является одним из возможных методов свертывания множества критериев, характеризующих степень опасности примыкания в единственный критерий. Метод обладает рядом преимуществ, однако утверждать, что он является наилучшим будет неверно. Для выбора наилучшего показателя необходимо проводить отдельные исследования. В то же время полученный показатель опасности примыкания может быть без проблем интегрирован в систему управления состоянием покрытий или инфраструктуры, а использование пакета FisPro значительно упрощает процесс нечеткого вывода.

Задачами, требующими дальнейшего решения, является уточнение диапазонов изменения термов лингвистических переменных и, возможно, расширение количества самих термов, тестирование влияния на конечный результат различных видов функций принадлежности. Также целесообразно рассмотреть возможность применения метода для случая пересечений дорог.

Литература

1. Wegman, F. Sustainable solutions to improve road safety in the Netherlands. / F. Wegman F, P. Elsenaar // Leidschendam, Institute for Road Safety Research, 1997.
2. Всемирный доклад о предупреждении дорожно-транспортного травматизма: резюме/ редакция Margie Peden ... [et al.]. [Electronic re-

source]. – Mode of access: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42925/9241591315_rus.pdf?sequence=5&isAllowed=y. – Date of access: 07.07.2023.

3. Towards Safe System Infrastructure A Compendium of Current Knowledge. Research Report AP-R560-18 [Electronic resource]. – Mode of access: https://austroads.com.au/publications/road-safety/ap-r560-18/media/AP-R560-18-Towards_Safe_System_Infrastructure_A_Compendium_of_Current_Knowledge.pdf. – Date of access: 07.07.2023.

4. Богданович, С. В. Управление безопасностью дорожной инфраструктуры в Республике Беларусь. Направления развития / С. В. Богданович // Научно-технический журнал «Автомобильные дороги и мосты». № (23). – Минск, 2019. с. 37–43.

5. Danish Road Traffic Accident Investigation Board (2014), Why do road traffic accidents happen?, 66 p. [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.hvu.dk/SiteCollectionDocuments/HVUdec14_UK_HvorforSkerUlykkerne.pdf. – Date of access: 07.07.2023.

6. Alberti, S., Integrating Risk Assessment into Pavement Management Systems / S. Alberti, F. Fiori // Journal of Infrastructure Systems, 25(1), 05019001, 2019.

7. Tighe, S.. Incorporating Road Safety into Pavement Management / Susan Tighe, Ningyuan Li, Lynne Falls, Ralph Haas // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1699, 2000. – P. 1–10.

8. Подиновский, В. В. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериаль-

ных решений / В. В. Подиновский, М. А. Потапов // Бизнес-информатика. – № 3(25). – 2013. – с. 41–48.

9. Gaber, M. Traffic accidents prediction model using fuzzy logic: aswan desert road case study / M. Gaber, A. M. Wahaballa, A. M. Othman, A. Diab // Journal of Engineering Sciences Assiut University/ – Vol. 45. – №. 1 (2017) – pp. 28–44.

10. Leonowicz I., Bohdanowicz S. Utrzymanie nawierzchni. Nowe zasady opracowania systemów zarządzania ich stanem. / I. Leonowicz, S. Bohdanowicz // Magazyn Autostrady, № 12. – 2007. – Р. 36–41/

11. Богданович, С. В. Расчет обобщенного показателя состояния дорожного покрытия с использованием лингвистических переменных / Т. В. Богданович // Научно-технический журнал «Автомобильные дороги и мосты». – № 1. – Минск, 2008. – С. 113–119.

12. D’Andrea, A. Application of Fuzzy Techniques for Determining the Operating Speed Based on Road Geometry / A. D’Andrea, O. Pellegrino // Promet-Traffic&Transportation, 24(3), pp. 203–214.

13. Driss, M. K. Traffic safety prediction model for identifying spatial degrees of exposure to the risk of road accidents based on fuzzy logic approach / M. Driss, K. Benabdeli, T. Saint-Gerand, M. A. Hamadouche, Geocarto International, 30:3, 2013. – pp. 243–257.

14. Скирковский, С. В. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учеб. пособие / С. В. Скирковский, Д. В. Капский / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 173 с.

KAPSKI Denis V., P., D. Sc. in Eng., Associate Professor, ice-chairman НАС¹
E-mail: d.kapsky@gmail.com

BOGDANOVICH Sergey V., Ph. D. in Engineering, Associate Professor, head of the department «Transport systems and technologies»²
E-mail: oapdd@bntu.by

ZAJCEVA Inga S.
engineer of the department «Transport systems and technologies»²
E-mail: oapdd@bntu.by

¹Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus

²Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 12 July 2023

ON THE ISSUE OF ASSESSING THE SAFETY OF ADJUNCTION ON ROADS

The principal aim of this article is to meticulously investigate and enhance the standards of highway safety and the accompanying infrastructural elements. The article scrutinizes data pertaining to vehicular mishaps over the preceding years, pinpointing crucial elements that precipitate the incidents. Among these contributing factors are the condition of the paved roadway, the clarity of view, the magnitude of vehicular flow, illumination, amongst others.

The authors devote considerable attention to the utilization of engineering management strategies, alongside risk management systems, to bolster the safety measures on highways. The discourse proposes the implementation of fuzzy logic allied with the FisPro system, as means to dissect and prognosticate traffic scenarios. The employment of these methodologies enables the consideration of the intricate and multidimensional nature of the issue of highway safety, taking into account the myriad of intertwined parameters.

The article underscores the necessity for a holistic approach to effectively amplify the safety standards of highways, encompassing all factors that exert influence on the prevailing traffic conditions. Such a comprehensive methodology permits not merely the response to budding issues, but also the anticipation

of potential risks, consequently enabling the timely implementation of preventative measures to avert them.

Keywords: Road safety, road adjunction, dangerous sections of roads, management systems, fuzzy logic, FisPro system

References

1. Wegman F, Elsenaar P. Sustainable solutions to improve road safety in the Netherlands. Leidschendam, Institute for Road Safety Research, 1997 (SWOV Report D-097-8).
2. World Report on Road Traffic Injury Prevention: Executive Summary/Edition Margie Peden ... [et al.]. [Electronic resource] – Mode of access: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42925/9241591315_rus.pdf?sequence=5&isAllowed=y. – Date of access: 07.07.2023.
3. Towards Safe System Infrastructure A Compendium of Current Knowledge. Research Report AP-R560-18 [Electronic resource] – Mode of access: https://austroads.com.au/publications/road-safety/ap-r560-18/media/AP-R560-18-Towards_Safe_System_Infrastructure_A_Compendium_of_Current_Knowledge.pdf. – Date of access: 07.07.2023.
4. Bogdanovich S. V. Road infrastructure safety management in the Republic of Belarus. Directions of development // Scientific and technical journal «Roads and bridges». No. 1 (23). – Minsk, 2019. –p. 37–43 (in Russian)
5. Danish Road Traffic Accident Investigation Board (2014), Why do road traffic accidents happen?, 66 p. – Retrieved from: http://www.hvu.dk/SiteCollectionDocuments/HVUdec14_UK_HvorforSkerUlykkerne.pdf.
6. Alberti, S., & Fiori, F. (2019). Integrating Risk Assessment into Pavement Management Systems. *Journal of Infrastructure Systems*, 25(1), 05019001.
7. Tighe, Susan; Li, Ningyuan; Falls, Lynne; Haas, Ralph (2000). Incorporating Road Safety into Pavement Management. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1699(), 1–10.
8. Podinovsky V. V., Potapov M.A. The method of the weighted sum of criteria in the analysis of multi-criteria decisions: pro et contra. *Business informatics* № 3 (25). – 2013. – p. 41–48 (in Russian)
9. Gaber M, Wahaballa A. M., Othman A. M., Diab A. Traffic accidents prediction model using fuzzy logic: aswan desert road case study//*Journal of Engineering Sciences Assiut University* Vol. 45 No. 1 (2017) – pp. 28–44.
10. Leonowicz I., Bohdanowicz S. Pavement maintenance. New rules for the development of systems for managing their condition. *Highway Magazine* 2007 no. 12. – pp. 36–41. (in Polish)
11. Bogdanovich S. V. Calculation of a generalized indicator of the state of the road surface using linguistic variables // *Scientific and technical journal "Roads and Bridges"*. No. 1. – Minsk, 2008. – p. 113–119. (in Russian)
12. D'Andrea, A. and Pellegrino, O. Application of Fuzzy Techniques for Determining the Operating Speed Based on Road Geometry // *Promet – Traffic&Transportation*, 24(3), pp. 203–214.
13. M. Driss, K. Benabdeli, T. Saint-Gerand & M. A. Hamadouche (2015) Traffic safety prediction model for identifying spatial degrees of exposure to the risk of road accidents based on fuzzy logic approach, *Geocarto International*, 30:3, 243–257.
14. Examination of road accidents: textbook. allowance / S. V. Skirkovsky, D. V. Cape.; Min. transp. and communications Rep. Belarus, Belarus. state transp. – Gomel: BelSUT, 2018. – 173 p. (in Russian)

ГУРСКИЙ А. С., канд. техн. наук, доц.,
зав. кафедрой «Техническая эксплуатация автомобилей»
E-mail: ASGURSKI@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 13.06.2023

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА И ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

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 надежности, стоимости и технической эксплуатации является высоковольтный накопитель энергии (ВНЭ). Применяемые в электробусах литий-железо-фосфатные аккумуляторы обладают рядом достоинств, однако уступают по скорости и количеству циклов заряда суперконденсаторам. Суперконденсаторы имеют меньший показатель запасенной энергии на единицу массы. Основными параметрами высоковольтных накопителей энергии являются: напряжение ВНЭ (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. Наиболее рациональным способом контроля является постоянный дистанционный мониторинг технического состояния и параметров эксплуатации. Поддержание ВНЭ в технически исправном состоянии, с сохранением технических параметров в заданных диапазонах, в том числе и ресурса, имеет огромное значение в уменьшении затратной части эксплуатации ЭАТС. Дистанционное экспресс-диагностирование ВНЭ позволяет экстренно принимать решения по недопущению усугубления неисправностей и предотвращению ремонта с высокой стоимостью. Прогнозирование технического состояния высоковольтных накопителей электроэнергии позволяет принимать меры по замене отдельных элементов, блоков элементов или определять время наработки до полной выработки ресурса и принимать меры по дальнейшему использованию в виде вторичных источников на стационарных предприятиях.

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

Введение

Контроль за работой и состоянием высоковольтных накопителей электроэнергии (ВНЭ) электрических автотранспортных средств (ЭАТС) в режиме реального времени и предупреждение возникновения неисправностей на сегодняшний день являются одними из актуальных задач, решение которых в полной мере выполнит система удаленного мониторинга и дистанционной диагностики. Система позволит повысить качество эксплуатации накопителей высоковольтной энергии (ВНЭ), сохранить заявленные характеристики в течение всего срока эксплуатации и повысить эффек-

тивность использования ЭАТС. Производители накопителей энергии постоянно совершенствуют характеристики элементов, однако на сегодняшний день высокая стоимость ВНЭ сохраняется. Этот факт подтверждает анализ ряда источников, в том числе Национальный центр маркетинга, открытое акционерное общество «Управляющая компания холдинга «Белкоммунмаш». Стоимость ВНЭ составляют до половины стоимости электробуса и до трети стоимости троллейбуса с автономным ходом [1–5].

Отличительные особенности накопителей и их ресурс

Высоковольтные накопители электроэнергии собираются на базе суперконденсатора или литий-ионной аккумуляторной батареи.

В случае применения суперконденсатора для обеспечения автономного хода в 20 км требуется время зарядки 8 мин. при остатке заряда 30 %. При этом емкость накопителя составляет 34 кВт, а срок службы накопителя – 90 000 циклов, масса – 1300 кг. Китайский производитель суперконденсатора предоставил модель Aowei S585V39-K7-A.

В случае применения литий-ионной батареи для обеспечения автономного хода в 140 км требуется время зарядки 180 мин. при остатке 30 %. При этом емкость накопителя составляет 183 кВт, а срок службы накопителя – 10 000 циклов. Таким образом, для обеспечения такого же пробега при прочих равных условиях необходимо 7 раз чаще проводить зарядку с общим временем заряда 56 мин. Следует при этом учитывать подготовительно заключительные мероприятия, связанные с за-

рядом большой силой тока. Диапазон рабочих температур суперконденсатора небольшой, что требует серьезной температурной стабилизации с использованием кондиционирования и жидкостного теплообмена. Данная система является жизненно важным органом и требует к себе повышенного внимания. Анализируя особенности процесса заряда-разряда следует учитывать свойство аккумуляторов выхода из рабочей области, в которой происходит активная деградация [6].

Фактическая емкость ВНЭ, используемая в процессе заряда-разряда определяется с учетом недопущения блокировки:

$$C_{30\% АКБ} = 0,3 \cdot C_{АКБ}, \text{ кВт} . \quad (1)$$

Требуемая энергия для заряда определяется

$$C_3 = C_{30\% АКБ} / t_3, \text{ кВт} \quad (2)$$

Результаты расчета энергетических параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Энергетические параметры ВНЭ.

	$C_{АКБ}$, кВт	$C_{30\% АКБ}$, кВт	t_3 , ч	E_3 , кВт·ч	U , В	I , А
Суперконденсатор	34	23,8	0,13	183	500	366
Литий–ион. АКБ	183	128,1	3,0	42	500	84

Приоритетной задачей для поддержания ВНЭ в технически исправном состоянии является сохранение технических параметров в заданных диапазонах, что сохранит заявленный ресурс и позволит значительно уменьшить затратную часть эксплуатации ЭАТС; другой важной задачей особенно для троллейбусов с автономным ходом является рациональное планирование распределения маршрутов движения с учетом времени заряда и разряда и соблюдения пограничных значений диапазона заряда – разряда с максимально-полной зарядкой позволит не допускать снижения ресурса ВНЭ по причине сокращения количества циклов заряд-разряд.

Задачами системы удаленного мониторинга и дистанционной диагностики высоковольтных накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств являются:

- экспресс-диагностирование ВНЭ;
- выявление нарушений в работе и корректирование движения ЭАТС;
- прогнозирование технического состояния высоковольтных накопителей электроэнергии;
- автоматизация управления автопарком при выполнении работ по ТО и ТР.

Основная часть

В принципе работы закладывается постоянное отслеживание и анализ пространственных и временных координат ЭАТС. Реализация может осуществляться в двух вариантах: online – с дистанционной передачей координатной информации и кратковременным хранением информации, offline – информация считывается после прибытия на транспортное предприятие или диспетчерский пункт. Второй вариант имеет ряд недостатков в плане дистанционной диагностики и оперативному принятию решений. В offline – варианте необходимость дистанционной передачи данных отсутствует, что позволяет использовать более дешевые мобильные модули и не использовать услуги операторов сотовой связи.

Система представляет собой совокупность технических средств, обеспечивающих получение первичных данных с накопителей высоковольтной электроэнергии, промежуточной обработке и кратковременному хранению с последующей передачей на сервер, для дальнейшей обработки с помощью программного комплекса. Схема системы показана на рисунке 1.

На ЭАТС устанавливается модуль, состоящий из приемника спутниковых сигналов, мо-

дуля считывания исходных параметров высоковольтного накопителя электроэнергии, модуля промежуточного расчета считанных исходных параметров, модуля кратковременного хранения и модуля передачи пакета сформированных данных и координат. Модуль пере-

дачи позволяет передавать данные, используя беспроводные сети операторов мобильной связи. Полученные данные анализируются и выдаются диспетчеру в текстовом виде или с использованием картографической информации.

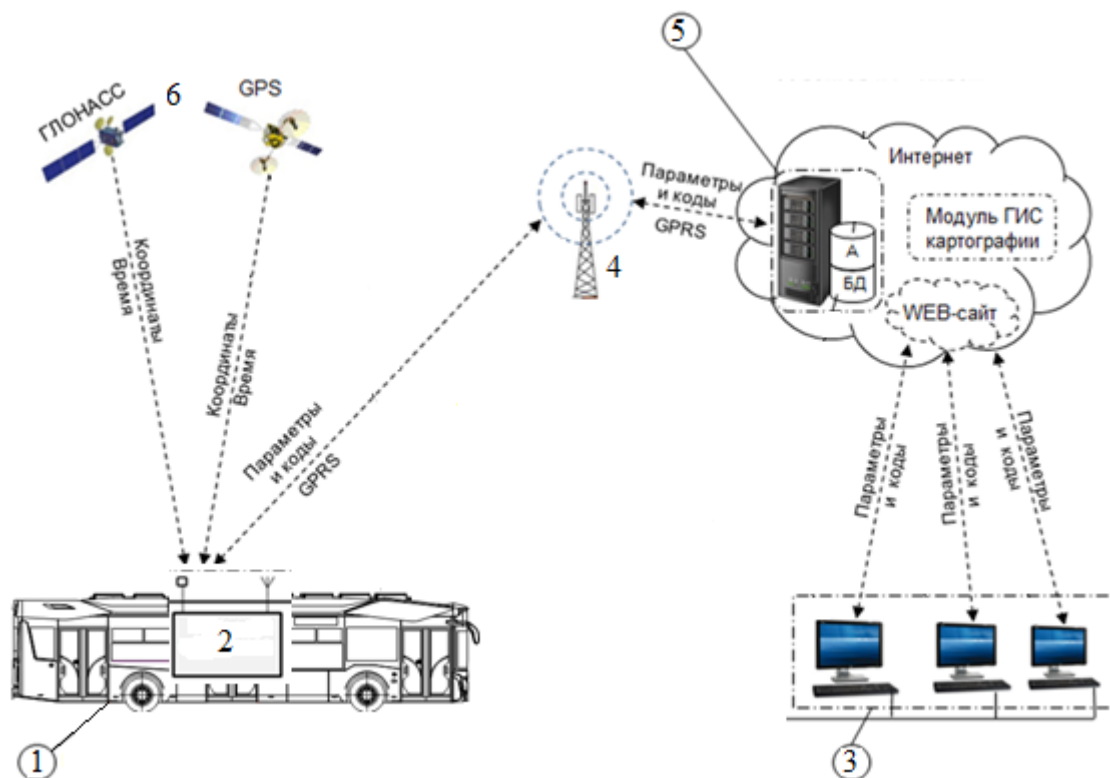


Рисунок 1 – Схема системы удаленного мониторинга и дистанционной диагностики накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств:

1 – контролируемое ЭАТС; 2 – терминал контроля накопителей электроэнергии с модулем промежуточного расчета и кратковременного хранения информации; 3 – программно-аппаратный комплекс обработки информации, получаемой с сервера; 4 – приемопередающая точка связи посредством сети GSM-GPRS; 5 – сервер длительного хранения информации (архив и база данных) с подключенными модулями картографии и с интернет связью; 6 – спутниковые системы GPS/ГЛОНАСС

Приемник спутниковых сигналов. Анализируя приемники спутниковых сигналов, следует отметить то, что модули, работающие в стандартах GPS обладают высокой точностью и скоростью работы. В странах СНГ предлагается использовать системы навигации ГЛОНАСС, которые до недавнего времени имели ряд недостатков: большая погрешность вычисления местоположения, более дорогое оборудование, большие габаритные размеры и худшие параметры энергопотребления. На сегодняшний день указанные недостатки практически устранены.

Китай активно распространяет автомобильную технику с использованием собственной спутниковой навигационной системы Beidou.

Основной задачей приемника спутникового сигнала является вычисление на основании сигналов спутников собственного местоположения, расстояния между точками положения,

скорости и направления движения, а также высоты над уровнем моря. На рисунке 2 приведена блок-схема подключения терминала. Не менее важной задачей стоит считывание комплекса параметров с накопителей высоковольтной энергии с использованием функциональных возможностей системы. Основным параметром является «время», к которому привязываются все исходные считываемые параметры. Данный параметр определяется с помощью встроенных в терминал высокостабильных часов, которые периодически проходят синхронизацию с данными времени со спутников. Перед выполнением считывания комплекса параметров проводится идентификация ЭАТС транспортных средств и ВНЭ. В результате идентификации ВНЭ определяется номинальная емкость. Считывание результатов измерений производится по каждой ячейке ВНЭ,

по каждому блоку ВНЭ и по всему накопителю в целом в процессе заряда и разряда:

- напряжение на ячейке в процессе да/разряда, В;
- напряжение ВНЭ в процессе заряда/разряда, В;
- сила тока заряда/разряда, А;

- температура ячеек в процессе заряда/разряда, градус Цельсия;
- температура окружающей среды, градус Цельсия;
- количество циклов зарядки/разрядки.

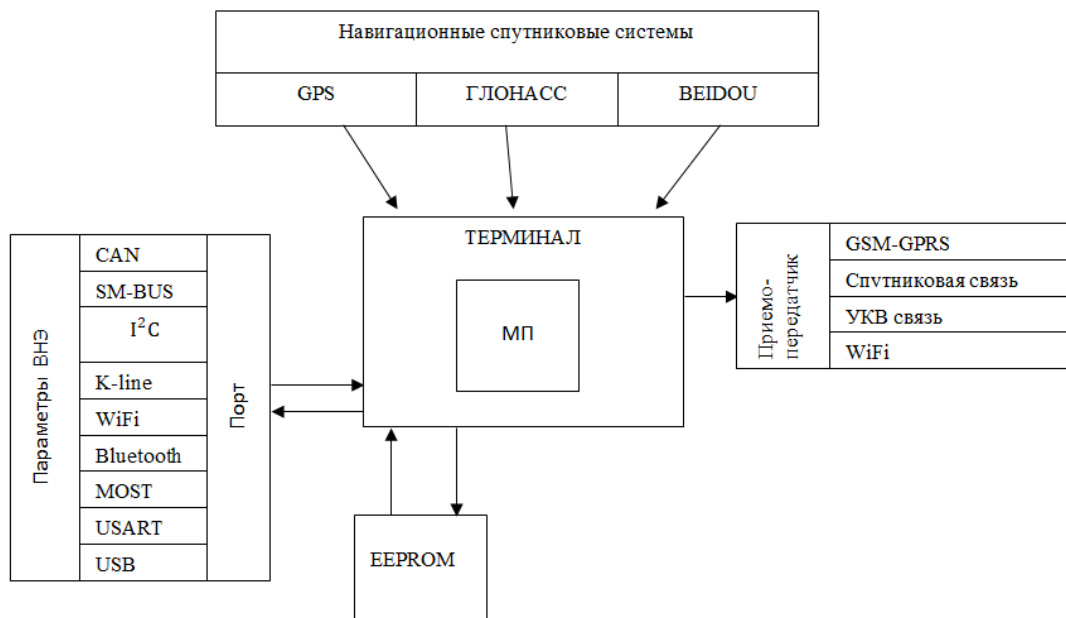


Рисунок 2 – Блок-схема подключения терминала

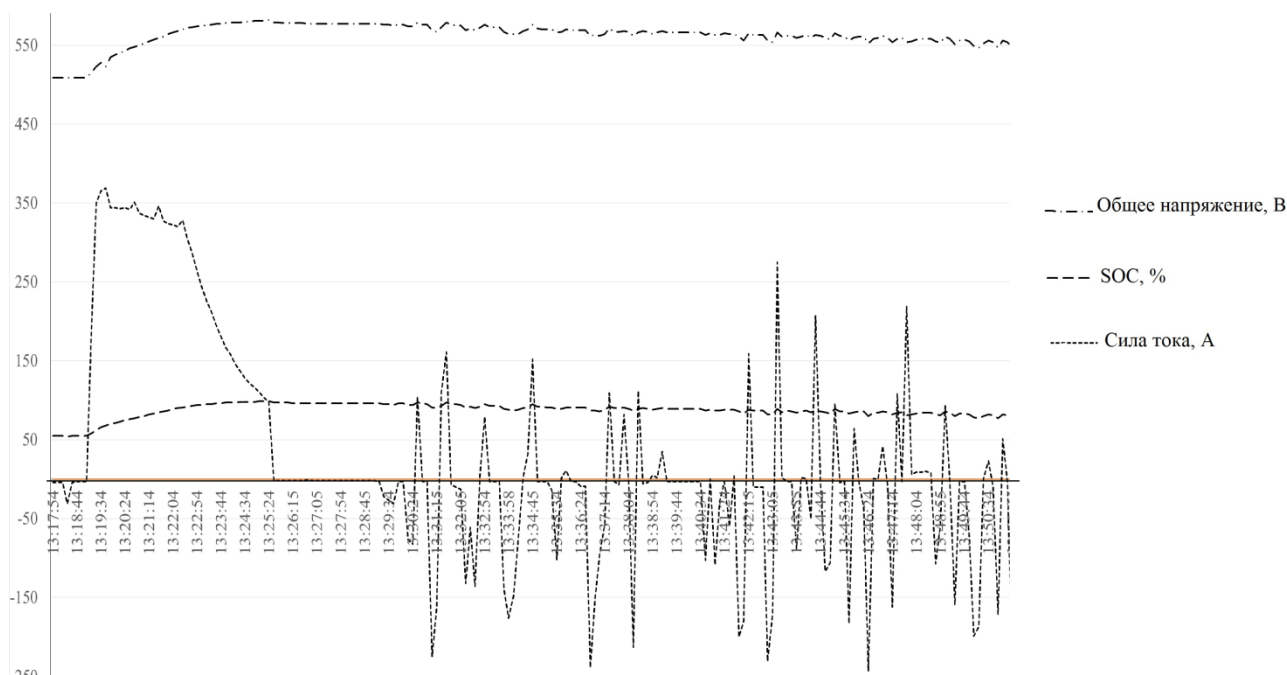


Рисунок 3 – График зависимостей напряжения силы тока и степени заряда во времени

Информация считывается с различных систем передачи информации в соответствии с вышеприведенным рисунком. Чаще используется проводная синхронная или асинхронная последовательная передача данных, но иногда в ВНЭ используют беспроводные технологии.

Это требует применения дополнительных преобразователей во входной цепи терминала.

Полученная информация поступает в соответствующий приемопередатчик и далее в микропроцессор терминала. В микропроцессоре рассчитываются все параметры, связанные с

циклами зарядки/разрядки с привязкой ко времени:

- уровень заряда, %;
- фактическая емкость, А*ч;
- среднее значение силы тока за определенный интервал времени, А;
- приращение напряжения на ячейках и ВНЭ за определенный интервал времени, В;
- среднее значение напряжения за определенный интервал времени, В;
- мгновенная мощность, отдаваемая в процессе разряда ВНЭ, Вт;
- мощность, отдаваемая в процессе разряда, за определенный интервал времени, Вт;
- электроэнергия, отдаваемая в процессе разряда, за определенный интервал времени, Вт·ч;
- мгновенная мощность, получаемая в процессе заряда ВНЭ, Вт;
- мощность, получаемая в процессе заряда, за определенный интервал времени, Вт;
- электроэнергия, получаемая в процессе заряда, за определенный интервал времени, Вт·ч;
- электроэнергия, получаемая в процессе заряда при рекуперации, за определенный интервал времени, Вт·ч;
- отношение электроэнергии, получаемой при рекуперации к общей электроэнергии в процессе заряда, за определенный интервал времени, %;
- наибольшая температура одной из ячеек за период заряда/разряда.

Следующей задачей является формирование процессором в терминале пакета данных для передачи на сервер предприятия или удаленный компьютер. Существует несколько способов формирования пакетов в зависимости от объема информации, скорости передачи и других факторов. В некоторых случаях рекомендуется проводить сжатие данных для сокращения времени их передачи. Однако следует учитывать, что на сжатие и распаковку данных тратится дополнительное время и ресурсы микропроцессора, что зачастую нивелирует выгоду от сокращения времени на передачу сжатых данных. Из всех способов приемопередачи на сегодняшний день использование GSM-модуля остается самым надежным. Однако при значительном удалении от населенных пунктов зачастую необходимо использовать УКВ или спутниковую связь. При работе электротранспорта на небольшом удалении от сервера можно использовать WiFi, Bluetooth и другие радио приемопередающие устройства. Защита информации от потерь производится различными способами.

В случае длительного отсутствия связи сформированные пакеты микропроцессор сохраняет в постоянном запоминающем устройстве терминала в сжатом или не сжатом виде. При возобновлении связи данные передаются с большей частотой передачи. При неустойчивой связи проверяется целостность пакета данных различными способами, например, расчетом и сравнением контрольной суммы. В случае неполноценной передачи данных процесс повторяется до наступления корректной передачи.

Значительное расширение возможностей происходит при реализации с помощью сети GSM-модуля интернет – соединения с различными протоколами. Протокол передачи файлов FTP (File Transfer Protocol) – хорошее решение для обмена данными с сервером. При правильной организации протокол FTP дает возможность передавать данные на несколько серверов или на другие удаленные компьютеры. Учитывая тот факт, что на сегодняшний день подвижной состав большинства предприятий автотранспорта уже используют системы мониторинга следует по возможности использовать имеющиеся ресурсы, что значительно сократит расходы на использование таких систем. Следует провести анализ частотных и накопительных характеристик имеющегося оборудования.

Полученные данные на сервере хранятся в архиве с использованием специализированной базы данных. Достоинством специализированной базы, является простота использования, т. е. подбор параметров производится на этапе проектирования. Программа-обработчик позволяет пользователю осуществлять поиск-выборку по тем значениям и параметрам, которые интересуют его в данный момент времени, создавать различные комплексы параметров и получать сложные функциональные зависимости от комплекса параметров как с выводом на экран, так и с созданием файла отчета в цифровом и графическом виде. Сама же база может обновляться в любой момент [7].

Данные в архиве для получения статистических данных должны в идеале храниться на протяжении всего жизненного цикла ЭАТС. Это позволит определять не только существующие эксплуатационные условия и расчет параметров, но также прогнозировать работоспособность ВНЭ и ЭАТС в целом.

Прогнозирование состояния ВНЭ и ЭАТС – ключ к высочайшему коэффициенту технической готовности всего предприятия, к решению вопросов списания и капитального ремонта, обновления парка подвижного состава,

качеству применяемых эксплуатационных материалов, качеству проведения профилактических мероприятий и технических воздействий, что может дать новый виток в совершенствовании организации технической эксплуатации. Кроме этого структурированная информация может быть выведена по ЭАТС, маршруту, парку за любой период времени. Имеется возможность создавать отчеты за рабочую смену, неделю, месяц, год и т. д.

Важным решением следует отметить автоматический вывод сообщения с сопровождающейся звуковой сигнализацией и визуальной индикацией в главном меню обо всех нарушениях работоспособности ВНЭ и ЭАТС в целом, а также о превышениях допустимых диапазонов, измеряемых параметров ВНЭ в целом. Данная функция позволит быстро координировать действия всех участников транспортного процесса и оперативно принимать решения по результатам оперативной дистанционной диагностики. В случае выхода в критическую зону ВНЭ по одному из критериев, решение принимает не только ЭБУ ЭАТС, водитель, но также специалист технической службы. По любому ЭАТС предприятия выводится отчет с информацией обо всех отклонениях измеряемых параметров от допустимых значений для детального рассмотрения особенностей эксплуатации и поведения ВНЭ. Определяется повторяемость выхода в критическое состояние и решается вопрос о назначении текущего ремонта или корректировки пробега до ТО. При обработке в автоматизированном режиме данные команды может формировать система «Умный парк». Одной из подсистем которой является «Ремонтная зона» [8]. Данная подсистема позволяет автоматизировать все функции, необходимые для ежедневной эксплуатации, технического обслуживания и ремонта электромобилей, троллейбусов, трамваев и электробусов специализированных транспортных предприятий либо предприятий любого профиля, имеющих свой автопарк, а также сервисных центров.

Другой важной подсистемой является «Автоматизированное планирование технического обслуживания». Программное обеспечение подсистемы предназначено для автоматизированного планирования технического обслуживания и отслеживания технического состояния подвижного состава на основании данных по пробегам автотранспорта и выполняемым работам по ремонту и ТО. Позволяет проводить анализ работы различных узлов автомобилей и данных по расходу запчастей, учету хождения и износа шин, а также учет работы ВНЭ. Работает совместно с программой подсистемы

«Ремонтная зона» и программами по учету пробегов из путевых листов.

Третьей подсистемой является «система планирования и оперативного управления движением транспорта». Программное обеспечение, которой предназначено для составления графиков работы водителей и кондукторов на основании расписания движения транспорта, составления сменно-суточной разрядки выпуска транспорта, приема разовых и постоянных заказов на автомобильные перевозки, выписки путевых листов на основании данных сменно-суточной разрядки.

Кроме этих подсистем в систему входят:

- «Автоматизированная обработка путевого листа электробуса»;
- «Ведение табеля учета рабочего времени»;
- «Автоматизация расчета стоимости перевозок»;
- «Планирование выручки пассажирских перевозок»;
- «Рентабельность работы электробусов по маршрутам»;
- «Показатели работы автобусов» и др.

Совмещение системы удаленного мониторинга и дистанционной диагностики высоковольтных накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств с системой «Умный парк» позволит выполнять автоматизацию технического обслуживания ВНЭ и ЭАТС в целом [9].

Следующей важной особенностью применения системы удаленного мониторинга и дистанционной диагностики высоковольтных накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств является прогнозирование эксплуатации ВНЭ и ЭАТС [10]. Построение графиков зависимости параметров ВНЭ с привязкой к текущему времени и местоположению в системе навигации позволит проанализировать загрузку и условия движения, что в свою очередь позволит планировать маршруты каждой единицы подвижного состава с возможностью равномерной выработки ресурсов всех ЭАТС. Сохранение основных данных на протяжении всего жизненного цикла ЭАТС позволит проводить корректировку конструкторской документации на новые виды техники, увеличивать ресурс отдельных компонентов для повышения эксплуатационных показателей как новых, так и эксплуатируемых машин.

Заключение

1. Высокая стоимость и большая уязвимость ВНЭ требует пристального внимания и своевременного реагирования при выходе из рабочего диапазона, а также по тенденции к

выходу из рабочего диапазона. Поддержание ВНЭ в технически исправном состоянии, с сохранением технических параметров в заданных диапазонах, в том числе и ресурса, имеет огромное значение в уменьшении затратной части эксплуатации ЭАТС.

2. Дистанционное экспресс-диагностирование ВНЭ позволяет экстренно принимать решения по недопущению усугубления неисправностей и предотвращению ремонта с высокой стоимостью (вовремя выявленные аномалии отдельных ячеек накопителей энергии позволяют провести активную балансировку либо заменить элемент, не допуская перегрева или разрушения).

3. Выявление нарушений в работе ЭАТС и корректирование движения особенно это справедливо для троллейбусов с автономным ходом: рациональное планирование распределения маршрутов движения с учетом времени заряда и разряда и соблюдения пограничных значений диапазона заряда – разряда позволит не допускать снижения ресурса ВНЭ.

4. Прогнозирование технического состояния высоковольтных накопителей электроэнергии позволяет принимать меры по замене отдельных элементов, блоков элементов или определять время наработки до полной выработки ресурса и принимать меры по дальнейшему использованию в виде вторичных источников на стационарных предприятиях.

5. Использование системы удаленного мониторинга и дистанционной диагностики высоковольтных накопителей электроэнергии электрических автотранспортных средств позволяет автоматизировать управление автопарком при выполнении работ по ТО и ТР.

Литература

1. Пахомчик, Д. А. Анализ работы современных электробусов / Д. А. Пахомчик, А. П. Коротченя // Новые горизонты – 2019: сборник материалов Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, Минск, 12–13 ноября 2019 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 137–138.

2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vb.by/society/auto/vo-skolko-objdutsya-10-novyh-trollejbusov-dlya-bresta.html>. – Дата доступа: 17.03.2023.

3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://romanov-motors.ru/katalog/gorodskie/gorodskoy-elektrobus-e420-vitovt-electro>. – Дата доступа: 27.03.2023.

4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metroblog.ru/post/2606/>. – Дата доступа: 16.03.2023.

5. Гурский, А. С. Анализ параметров высоковольтных аккумуляторных батарей электробусов с целью создания алгоритмов их общего и поэлементного диагностирования с применением телематических систем/ А. С. Гурский // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сборник научных статей / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: С. В. Харитончик (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – Вып. 4. – С. 12–20.

6. Гурский, А. С. Использование баз данных для хранения и анализа информации в системах дистанционного диагностирования/ 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. 65–69.

7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://transtex-nt.com/software/transport-and-production/>. – Дата доступа: 10.04.2023.

8. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы ITS / В. П. Волков [и др.]. – Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2013. – 398 с.

9. Повышение качества технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств путем мониторинга технического состояния / А. А. Алешко [и др.]; под ред. Д. Н. Коваля. – Минск: Бел НИИТ «Гранстехника», 2018. – 324 с.

10. Гурский, А. С. 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.

GURSKY Alexandr S., Ph. D. in Engineering, Associate Professor,
head of the department «Technical operation of cars»
E-mail: ASGURSKI@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Received 13.06.2023

SYSTEM FOR REMOTE MONITORING AND REMOTE DIAGNOSTICS OF HIGH-VOLTAGE ENERGY STORAGE DEVICES OF ELECTRIC VEHICLES

The introduction of electric buses and trolleybuses with an increased range as urban transport requires adjusting the methods for servicing and repairing rolling stock, as well as re-equipping enterprises operating this type of vehicle. The most complex component in terms of reliability, cost, and technical operation is the high-voltage energy storage (HSE). Lithium-iron-phosphate batteries used in electric buses have a number of advantages, but they are inferior in speed and number of charge cycles to supercapacitors. Supercapacitors have less stored energy per unit mass. The main parameters of high-voltage energy storage devices are: HSE (battery) voltage, battery capacity, battery energy reserve, power reserve, average and instantaneous power consumption, discharge current, battery charge level, battery temperature. The most rational way of control is constant remote monitoring of the technical condition and operation parameters. Maintaining the HSE in a technically sound condition, while maintaining the technical parameters in the specified ranges, including the resource, is of great importance in reducing the costly part of the EV operation. Remote express diagnosis of HSE allows you to make urgent decisions to prevent aggravation of malfunctions and prevent high-cost repairs. Forecasting the technical condition of high-voltage energy storage devices allows you to take measures to replace individual elements, blocks of elements or determine the operating time until the resource is fully depleted and take measures for further use in the form of secondary sources at stationary enterprises.

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

References

1. Pakhomchik, D. A. Analysis of the work of modern electric buses / D. A. Pakhomchik, A. P. Korotchenya // New horizons. – 2019: collection of materials of the Belarusian-Chinese Youth Innovation Forum, Minsk, November 12–13, 2019 / Belarusian National Technical University. – Minsk: BNTU, 2019. – P. 137–138.

2. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://vb.by/society/auto/vo-skolko-objdutsya-10-novyh-trollejbusov-dlya-bresta.html>. – Date of access: 17.03.2023.

3. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://romanov-motors.ru/katalog/gorodskie/gorodskoy-elektrobus-e420-vitovt-electro>. – Date of access: 27.03.2023.

4. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://metroblog.ru/post/2606/>. – Date of access: 16.03.2023.

5. Gursky, A. S. 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 / A. S. Gursky // Transport and transport systems: design, operation, technologies: collection of scientific articles / Belarusian National Technical University; editorial board: S. V. Kharitonchik (editor-in-chief) [and others]. – Minsk: BNTU, 2022. – Issue. 4. – P. 12–20.

6. Gursky, A. S. The use of databases to store and analyze information in the systems of remote diagnostics / A. S. Gursky // Automotive and tractor building: materials International Scientific and Practical Conference / Belarusian National Technical University; ed.: otv. ed. D. V. Kapsky [i dr.]. – Minsk: BNTU, 2019. – T. 2. – P. 65–69.

7. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://transtex-nt.com/software/transport-and-production/>. – Date of access: 10.04.2023.

8. Volkov, V. P. Integration of the technical operation of automobiles into the structures and processes of ITS / V. P. Volkov [i dr.]. – Donetsk: Publishing House «Knowledge», 2013. – 398 p.

9. Improving the quality of maintenance and repair of vehicles by monitoring the technical condition / A. A. Aleshko [et al.]; ed. D. N. Koval. – Minsk: Bel NIIT «Transtehnika», 2018. – 324 p.

10. Gursky, A. S. 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, No. 3. – P. 375–383.

БОЙКОВ В. П., д-р техн. наук, проф.,
зав. каф. «Тракторы»¹
E-mail: trak_atf@bntu.by

АБДУРАЗЗОКОВ У. А., канд. техн. наук, доц.,
зав. каф. «Инжиниринга транспортных средств»²
E-mail: rektorat@tstu.uz

АНВАРЖОНОВ А. А. угли,
аспирант¹, асс. каф. «Инжиниринга транспортных средств»²
E-mail: rektorat@tstu.uz

¹Белорусский Национальный Технический Университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, Узбекистан

Поступила в редакцию 15.09.2023

АНАЛИЗ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

В Республике Узбекистан горнодобывающий промышленность является неотъемлемой частью экономики. Еже годно АО НГМК производит более 105 тонн золота, более 700 тысяч тонн серебра и т. д. В данной статье анализированы дорожные условия эксплуатации карьеров Республики Узбекистан. Анализ показывает, что дорожные условия эксплуатации карьеров тяжелые, из-за чего крупно габаритные шины карьерных самосвалов не дают гарантированного пробега. Исходя из вышеперечисленных приведен статистический анализ пробега крупногабаритных шин. В данной статье приводится анализ дорожных условий при эксплуатации специальной техники на примере карьера Мурунтау Республики Узбекистан. Исследована инфраструктура условий эксплуатации основными компонентами которой являются уклоны дорог и состояние дорожной поверхности. В частности, уклоны составляют 15–20 % и более, а качество поверхности представляет собой сильнейший абразивный материал – смесь грунтовых пород с металлизированными включениями, что приводит к интенсивному износу протектора шины.

Ключевые слова: дорожные условия, карьер, уклон, рабочий цикл, крупногабаритные шины, износ, грунт, автомобильные дороги.

Введение

Развитие мирового промышленного комплекса и, в частности отраслей машиностроения, постоянно требует увеличения производства продукции металлургии, что, в свою очередь, сопровождается повышением объемов выработки соответствующих полезных ископаемых. Разработаны специальные технологические процессы добычи и переработки значительных объемов грунтов.

Для реализации указанных технологий разработано специальное оборудование и техника. В частности, для перевозки добытых материалов используется большегрузная техника грузоподъемностью свыше 120–150 и более тонн. Наиболее нагруженной системой таких машин в этих условиях является ходовая система, в частности шины.

Поэтому в данной статье приводится анализ дорожных условий при эксплуатации специальной техники на примере карьера Мурунтау Республики Узбекистан.

Основная часть

Одним из основных факторов влияющий на энергоэффективность транспортных средств является дорожные условия эксплуатации. Так как основная энергия производимый двигателем ТС затрачивается на преодоление сил сопротивления дороги.

Дорожные условия эксплуатации включают в себя тип дорожного покрытия, угол продольного и поперечного наклона, длина подъема и т. д. Классификация дорог по правилам СНИП приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация условий эксплуатации

Категория условия эксплуатации	За пределами пригородной зоны (более 50 км от границы города)	В малых городах (до 100 тыс. жителей) и в пригородной зоне	В больших городах (более 100 тыс. жителей)	Народнохозяйственное и административное значение автомобильной дороги
I	Д ₁ -P ₁ , P ₂ , P ₃	–	–	I _a – магистральные автомобильные дороги общегосударственного значения, в том числе для международного сообщения I _б – автомобильные дороги общегосударственного (не отнесенных к категории I _a), республиканского, областного значения
II	Д ₁ -P ₄ Д ₂ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ Д ₃ -P ₁ , P ₂ , P ₃	Д ₁ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ Д ₂ -P ₁ ,	–	Автомобильные дороги общегосударственного (не отнесенных к категориям I _a и I _б) республиканского, областного значения
III	Д ₁ -P ₅ Д ₂ -P ₅ Д ₃ -P ₄ , P ₅ Д ₄ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅	Д ₁ -P ₅ Д ₂ -P ₂ , P ₃ , P ₄ P ₅ Д ₃ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅ Д ₄ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅	Д ₁ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅ Д ₂ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ Д ₃ -P ₁ , P ₂ , P ₃ Д ₄ -P ₁	Автомобильные дороги общегосударственного (не отнесенных к категориям I _a и II) республиканского и местного значения
IV	Д ₅ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅	Д ₅ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅	Д ₂ -P ₅ Д ₃ -P ₄ , P ₅ Д ₄ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅ Д ₅ -P ₁ , P ₂ , P ₃ , P ₄ , P ₅	Автомобильные дороги общегосударственного (не отнесенных к категориям I _a и II, III) республиканского и местного значения
V _a V _б	Д ₆ -P ₁ , P ₂ Д ₆ -P ₃ , P ₄ , P ₅	Д ₇ -P ₁ , P ₂ Д ₇ -P ₃ , P ₄ , P ₅		Автомобильные дороги местного значения и карьерные дороги

Примечания: Д₁ – цементобетон, асфальтобетон, брусчатка, мозаик; Д₂ – битумоминеральные смеси; Д₃ – щебень без обработки, дегтебетон; Д₄ – булыжник, колотый камень, грунт и мало прочный камень, обработанный вяжущими материалами, зимники; Д₅ – грунт, укрепленный или улучшенный местными материалами; Д₆ – естественные грунтовые дороги; подъездные пути, не имеющие твердого покрытия; Д₇ – временные внутрикарьерные и отвальные дороги.

Тип рельефа местности (определяется высотой над уровнем моря):

- P₁ – равнинный (до 200 м);
- P₂ – слабохолмистый (от свыше 200 до 300 м);
- P₃ – холмистый (от свыше 300 до 1000 м);

- P₄ – гористый (от свыше 1000 до 2000 м);
- P₅ – горный (свыше 2000 м).

При изучении условия эксплуатации карьерных дорог Республики Узбекистан были выявлены следующие показатели (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительные данные по сопротивляемости пород на карьерах Кальмакыр и Сары-Чеку

Материал	Сопротивление покрытия, %	Материал	Сопротивление покрытия, %
Корунд	100	Базальты	2,0–3,9
Кварцит	10,7	Трахиты	2,0–3,5
Весьма твердый кварцит	7,0–8,0	Порфириды	1,5–5,0
Порфиры	3,4–10,2	Песчаники	0,7–4,2
Среднепрочные граниты	3,0–7,0	Известняки	0,04–0,51

Учитывая, что в составе породы очень много кварцита карьера Кальмакыр до 67 %, который считается наиболее твердой породой (см. таблицу 2), естественно, что у всех колесных средств, работающих там, будет наблюдаться интенсивный износ шин. Даже у бульдозеров, которые выполняют огромный объем работ в карьерах АГМК, гусеницы изнашиваются раньше планируемого срока эксплуатации в моточасах. Судя по расположению различных пород пластами определенной высоты, дорога

от спуска до дна карьера неоднородна по твердости ее основания (рисунки 2–3).

Кроме того, при изучении карьера Мурунтау НГМК использовалось аппаратно-программный продукт V-BOX. Самый главный функционал данного прибора заключается в том, чтобы изучить дорожных условий эксплуатации. Анализы показали следующие результаты (рисунок 3).



Рисунок 1 – Участок дороги заезда на вскрышной карьер

Дороги с таким уклоном допускаются только для кратковременного использования. Распределение уклонов по маршруту приведено на рисунке 4.



Рисунок 2 – Участок дороги ЦК – спуск к площадке БелАЗов

По правилам СНИП, в карьерах уклоны до 8 % считаются оптимальными для эффективной эксплуатации карьерного транспорта. Однако определена участки с уклоном выше 15 %.



Рисунок 3 – Маршрутная карта карьера Мурунтау НГМК:
— маршрут карьерного самосвала

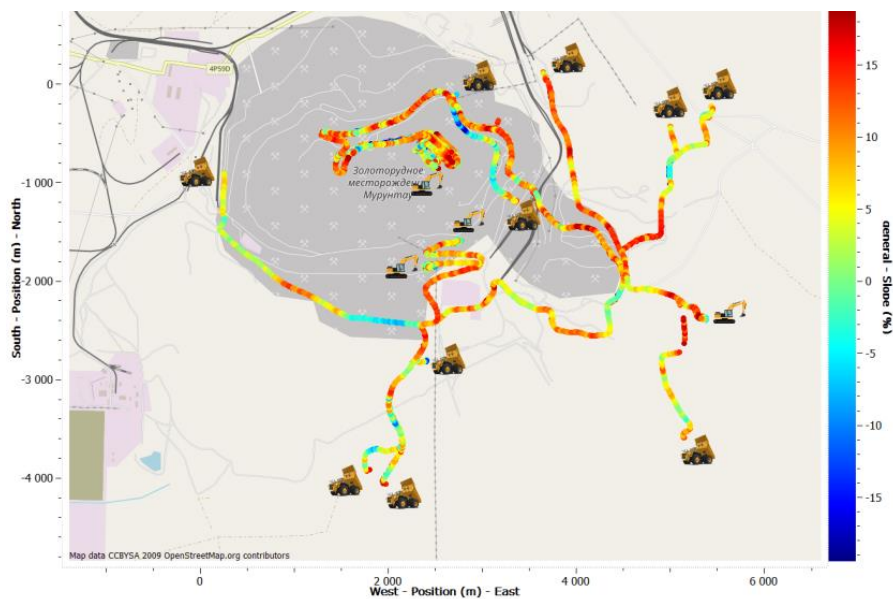


Рисунок 4 – Распределение уклонов по маршруту

Кроме того, исходя от возраста карьерных самосвалов определяется участок работы. Исследование самосвала CAT 789D с возрастом

20 лет показало, что самосвал эксплуатируется только в верхних участках карьера.

При таких условиях эксплуатации крупногабаритные шины карьерных самосвалов не

выдают гарантированный пробег производителя. В таблице 3 приведены данные по эксплуатации крупногабаритных шин в карьере Мурунтау.

Исходя из выше приведенных данных можно сделать вывод, из-за сложности дорожных условий карьера Мурунтау (рисунки 5–6), основной причиной выхода из строя почти 50 % крупногабаритных шин является абразивный износ.



Рисунок 5 – Маршрутная карта одного рабочего цикла САТ 789D

Общий протяженность маршрута составила 3,5 км. Однако нижеприведенном рисунке можно увидеть уклоны в диапазоне 15–20 %.



Рисунок 6 – Участки, где уклоны составляют 15–20 %

Заключение

В результате проведенного анализа условий эксплуатации большегрузной техники в карьерах Республики Узбекистан получены следующие результаты.

Исследована инфраструктура условий эксплуатации основными компонентами которой являются уклоны дорог и состояние дорожной поверхности. В частности, уклоны составляют 15–20 % и более, а качество поверхности представляет собой сильнейший абразивный материал – смесь грунтовых пород с металлизированными включениями, что приводит к интенсивному износу протектора шины.

Проведенные исследования и их количественные результаты будут использованы при оценке нагрузочного режима шин и разработке рекомендаций по повышению их надежности и ходимости, а также позволят оценивать энергоэффективность самого транспортного средства.

Литература

1. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П. Л. Мариев [и др.]. – СПб.: Наука, 2006. – 387 с.
2. Yusupov, U. B. Method for calculation of the influence of the longitudinal slope of the road on the tire life / U. B. Yusupov, A. A. Mukhitdinov, Q. U. o'g'li Urinbayev // *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*. (2023), 11(3). – P.49–59.
3. Yusupov, U. Research of the resource of tires of rotary buses in career conditions / U. Yusupov, O. Kasimov, A. Anvarjonov // *ICPPMS-2021*. Cite as: AIP Conference Proceedings 2432, 030072. – 2022.
4. Дубинкин, Д. М. Обоснование количества и типа размера шин для беспилотных карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин, А. Б. Карташов, Г. А. Арутюнян // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2020, № 3. – С. 25–33.
5. Горюнов, С. В. Разработка методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов: дис. ... канд. техн. наук – М. : Кемерово, 2021. – 124 с.
6. Юсупов, У. Б., Касимов О. К., Нарзиев Ж. Ш. Нормирование пробега шин вахтовых автобусов НефАЗ в условиях «АГМК» / У. Б. Юсупов, О. К. Касимов, Ж. Ш. Нарзиев // *Международный, научный электронный журнал «Транспорт шелкового пути»*. – Ташкент, 2019. – № 3–4. – С. 94–101.

Таблица 3 – Анализ ходимости КГШ в условиях эксплуатации Мурунтау

Типоразмер	Модель	Производитель	К-во	Средняя ходимость, тыс. км	(Механические повреждения)		(Отслоение)		(Износ)		Период эксплуатации	Применение	доля шин с износом, %
					К-во	Средняя ходимость, тыс. км	Кол.-во	Средняя ходимость, тыс. км	К-во	Средняя ходимость, тыс. км			
40.00R57	XDR3	Michelin	1299	65,77	228	55,52	318	45,82	753	77,30	2020/22		58
40.00R57	ET-304, ET-305	Techking	145	28,50	27	27,54	92	24,05	26	45,25	2020/22		18
40.00R57	HA-710, HA-162	Luan	25	18,67			24	18,16	1	30,82	2022		4
40.00-57	ФТ-117	Белшина	22	39,54	2	22,10	6	33,30	14	44,70	2013/14		64
46/90R57	RM-4B+	Goodyear	59	46,57	13	43,33	13	30,37	33	54,22	2021/22	БелАЗ-75310, CAT 793D, Komatsu 830E	56
40.00R57	RM-4B+	Goodyear	15	50,64	3	45,64	2	42,43	10	53,78	2021/22		67
46/90R57	VRPS	Bridgestone	36	79,39	10	76,90	17	73,60	9	93,10	2018/19		25
46/90R57	ET-304, ET-305	Techking	191	20,62	17	24,11	143	17,10	31	34,95	2021/22		16
46/90R57	HA-710, HA-162	Luan	36	21,29			29	18,27	7	33,81	2022		19
46/90-57	Бел-160Д	Белшина	57	20,69	3	20,90	33	18,00	21	24,90	2013		37
42/90R57	VRDP	Bridgestone	40	94,52	9	92,00	21	83,70	10	119,50	2018/19	CAT789D	25
37.00R57	XDR2, XDR3	Michelin	128	81,50	21	62,88	34	54,02	73	99,66	2020/22		57
37.00R57	RM-4A+	Goodyear	9	54,28	2	32,12	1	22,92	6	66,90	2021/22		67

7. Topalidi, V. A. Wear resistance of specialized vehicles tires on quarry roads / V. A. Topalidi, U. B. Yusupov, A. M. Babaev // International journal of mechanical and production engineering research and development (IJMPERD). Vol. 10, Issue-5. Edition: Oct, 2020. – P. 643–658.

8. Топалиди, В. А. Нормирование ресурса шин типовых автомобилей в карьерных условиях / В. А. Топалиди, У. Б. Юсупов // Автомобильная промышленность. – М. : 2019. – № 11. – С. 27–29.

9. Топалиди, В. А. Износостойкость шин специализированного автотранспорта в зави-

симости от категории крепости карьерных дорог / В. А. Топалиди, У. Б. Юсупов // Автомобильная промышленность. – М. : 2020. – № 12. – С. 20–22.

10. Цыценко, Н. А. Исследование зависимости эксплуатационных затрат на движение автомобиля от скорости движения и величины уклона дороги / Н. А. Цыценко // Повышение экономической эффективности строительства и эксплуатация автомобильных дорог Казахстана. – Алма-Ата, 1971. – С. 48–56.

UDK 629.114

BOIKOV Vladimir P., Doctor of technical Sciences, Professor,
Head of the Department «Tractors»¹
E-mail: trak_atf@bntu.by

ABDURAZZOKOV Umidulla A., Ph. D. in Engineering, Associate Professor,
Head of the Department of «Vehicle Engineering»²
E-mail: rektorat@tstu.uz

ANVARZHONOV Akmaljon A. ugli,
Ph. D. student¹, assistant of the Department of «Vehicle Engineering»²
E-mail: rektorat@tstu.uz

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

²Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Received 15.09.2023

ANALYSIS OF ROAD CONDITIONS OF OPERATION OF MINING DUMP TRUCKS IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

In the Republic of Uzbekistan, the mining industry is an integral part of the economy. It is also suitable for JSC NMMC to produce more than 105 tons of gold, more than 700 thousand tons of silver, etc. This article analyzes the road conditions of operation of quarries in the Republic of Uzbekistan. Analyses show that the road conditions of quarry operation are heavy, which is why large-sized tires of dump trucks do not give a guaranteed mileage. Based on the above, a statistical analysis of the mileage of oversized tires is given. This article provides an analysis of road conditions during the operation of special equipment on the example of the Muruntau quarry of the Republic of Uzbekistan. The infrastructure of operating conditions is investigated, the main components of which are road slopes and the condition of the road surface. In particular, the slopes are 15–20 % or more, and the surface quality is the strongest abrasive material – a mixture of ground rocks with metallized inclusions, which leads to intensive wear of the tire tread.

Keywords. road conditions, quarry, slope, duty cycle, oversized tires, wear, soil, highways.

References

1. Career vehicles of the CIS countries in the XXI century / P. L. Mariev [et al.]. – St. Petersburg: Nauka, 2006. – 387 p.
2. Yusupov, U. B. Method for calculation of the influence of the longitudinal slope of the road on the tire life / U. B. Yusupov, A. A. Mukhitdinov, Q. U. o'g'li Urinbayev // *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*. (2023), 11(3). – P.49–59.
3. Yusupov, U. Research of the resource of tires of rotary buses in career conditions / U. Yusupov, O. Kasimov, A. Anvarjonov // *ICPPMS-2021*. Cite as: AIP Conference Proceedings 2432, 030072. – 2022.
4. Dubinkin, D. M. Substantiation of the number and type of tire size for unmanned mining dump trucks / D. M. Dubinkin, A. B. Kartashov, G. A. Harutyunyan // *Mining equipment and electromechanics*. – 2020, No. 3. – pp. 25–33.
5. Goryunov, S. V. Development of a methodology for predicting the durability of large-barite tires of quarry dump trucks: dis. ... Candidate of Technical Sciences – Moscow : Kemerovo, 2021. – 124 p.
6. Yusupov, U. B. Rationing the mileage of NefAZ shift buses in the conditions of «AGMK» / U. B. Yusupov, O. K. Kasimov, Zh. Sh. Narziev // *International, scientific electronic journal «Transport of the Silk Road»*. – Tashkent, 2019. – No. 3–4. – pp. 94–101.
7. Topalidi, V. A. Wear resistance of specialized vehicles tires on quarry roads / V. A. Topalidi, U. B. Yusupov, A. M. Babaev // *International journal of mechanical and production engineering research and development (IJMPERD)*. Vol. 10, Issue-5. Edition: Oct, 2020. – P. 643–658.
8. Topalidi, V. A. Rationing of the tire life of standard cars in career conditions / V. A. Topalidi, U. B. Yusupov // *Automotive Industry*. – M. : 2019. – No. 11. – pp. 27–29.
9. Topalidi, V. A. Wear resistance of tires of specialized vehicles depending on the category of strength of quarry roads / V. A. Topalidi, U. B. Yusupov // *Automobile industry*. – M. : 2020. – No. 12. – pp. 20–22.
10. Tsitsenko, N. A. Investigation of the dependence of operating costs on the engine-the dependence of the car on the speed of movement and the slope of the road / N. A. Tsitsenko // *Improving the economic efficiency of construction and operation of automobile roads in Kazakhstan*. – Alma-Ata, 1971. – pp. 48–56.

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

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 07.08.2023.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПОД ГУСЕНИЧНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ С УПРУГИМИ ТРАКАМИ

Повысить эффективность сельскохозяйственного трактора и уменьшить давление на почву можно, установив на него гусеничный движитель с упругими траками, например, используя пневматическую гусеницу или гусеницу с резинокордными траками. Для разработки конструкции и выбора рациональных параметров такого движителя необходимо знать закономерности распределения давлений под гусеницей, взаимосвязь параметров гусеничного движителя и максимальных давлений, возникающих под ним. Рассмотрен процесс взаимодействия гусеницы с деформируемым основанием и установлены зависимости распределения давлений под гусеничным движителем с упругими траками от его конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы. Получены теоретические зависимости для определения максимальных давлений под опорными катками пневмогусеничного движителя. Они позволяют строить эпюры и определять закономерности распределения давлений под гусеничным движителем с упругими траками, выбирать параметры движителя по критерию допустимых давлений на почву. Расчетные эпюры распределения давлений качественно и количественно согласуются с экспериментальными эпюрами, расхождение максимальных давлений не превышает 20 %.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор, ходовая система, гусеница с упругими траками, пневмогусеница, резинокордные траки, зависимости для определения давлений, давление на почву.

Введение

На сельскохозяйственных тракторах используются два типа движителей – колесные и гусеничные. Исторически колесо прошло следующие этапы своего развития: металлический обод, обрешиненный обод, пневматическая шина. Развитие гусеницы отстает от колеса, до сих пор эксплуатируются металлические гусеницы, последние десятилетия широко используются резиноармированные гусеницы [1–4]. Следующим этапом развития должна стать гусеница с упругими траками: пневматическая, пенозаполненная [5–7], с эластично-упругими опорами [8], с резинокордными траками [9–11].

Экспериментальные исследования показали, что использование пневматических гусениц и гусениц с резинокордными траками вместо металлических позволяет уменьшить давление на почву на 44–56 % [5–7, 11].

Равномерность распределения давления по длине гусеничного движителя гусеница с

упругими траками зависит от параметров его ходовой части и от физико-механических свойств почвы. Гусеница с упругими траками представляет собой гибкую нерастяжимую ленту, движущуюся по деформируемому основанию. Исследования взаимодействия гусеницы, представленной в виде гибкой нерастяжимой ленты приведены в работах [12–19]. Особенностью же гусеницы с упругими траками является то, что гибкая нерастяжимая лента взаимодействует со сложно-деформируемой системой, состоящей из упругих элементов и почвы.

Цель работы – теоретически исследовать процесс взаимодействия упругих элементов гусеницы с деформируемым основанием и установить зависимость максимальных давлений под гусеничным движителем с упругими элементами от его конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы.

Исследования проведены на примере пневматической гусеницы.

Особенности взаимодействия пневматической гусеницы с деформируемым основанием

Прогиб гусеницы между опорными катками возможен лишь при условии, что под каждым катком грунт и пневмоэлемент гусеницы дает осадку, которая частично восстанавливается после прохода катка (рисунок 1). При этом нужно учитывать, что пневматические элементы могут быстрее восстанавливать свои размеры, чем почва, и, таким образом, поддерживать активное давление между опорными катками.

В пределах существующих скоростей движения сельскохозяйственных тракторов можно принять, что прогиб пневмогусеницы обусловлен как деформацией пневмоэлементов, так и деформацией почвы.

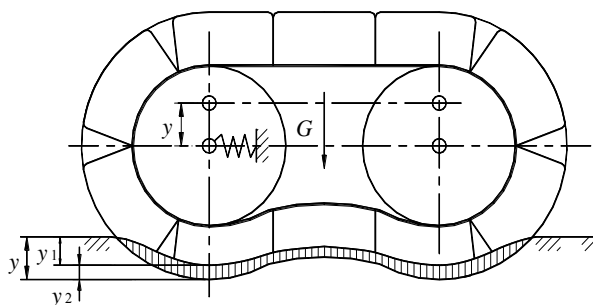


Рисунок 1 – Схема совместной деформации почвы и пневмогусеницы под действием нагрузки

При агротехнически допустимых давлениях движителя на почву ($q \leq 80\text{--}120 \text{ кПа}$) [6], целесообразно [20] использовать линейную модель деформации почвы:

$$q = k \cdot y_1, \quad (1)$$

где q – давление на почву; k – коэффициент объемного смятия почвы; y_1 – деформация почвы.

Зависимость нормальной деформации пневмоэлементов гусеницы от нагрузки, в пределах допустимой деформации, также линейная [5]:

$$q = c_z \cdot y_2, \quad (2)$$

где c_z – удельная нормальная жесткость пневмоэлемента; y_2 – деформация пневмогусеницы.

Решая уравнения (1) и (2) совместно, приняв $y = y_1 + y_2$ получим зависимость деформации сложной системы от величины давления:

$$q = k_{np} \cdot y, \quad (3)$$

где $k_{np} = c_z \cdot k / (c_z + k)$ – приведенный коэффициент жесткости.

Распределение давления под средними катками пневмогусеничного движителя

Для получения зависимостей распределения давлений, рассмотрим схему пневмогусеничного движителя (рисунок 2), состоящего из пневматической гусеницы, растянутой усилием T и трех опорных катков. Контактная поверхность пневмогусеницы, в общем случае, представляет собой ряд последовательно расположенных площадок. В статике эпюра распределения давлений в контакте такого движителя с опорной поверхностью представляет собой дискретные пики (рисунок 2, *b*). Во время движения они очерчивают, замеряемую экспериментально, эпюру давлений q . Большая часть нагрузки воспринимается пневмоэлементами, находящимися под опорными катками. Часть нагрузки, благодаря натяжению гусеницы и упругим свойствам пневмоэлементов и почвы, воспринимается пневмоэлементами, находящимися между катками. Причем, величина максимального давления под опорными катками зависит от его положения относительно пневмоэлементов. Давление под катком будет максимальным, когда он находится над серединой пневмоэлемента [5]. Рассмотрим экстремальный случай. Примем, что i -й каток расположен над серединой пневмоэлемента (рисунок 2, *a*). Допустим, что нагрузка G_i , приходящаяся на него, передается на почву участком пневмогусеницы АЕ: $a_{i-1} / 2 + a_i / 2$. Справедливость такого допущения подтверждается экспериментальными эпюрами распределения давлений пневмогусеничных движителями [5], из которых видно, что минимум давления, как правило, находится в точке, лежащей на середине межкаткового расстояния. Следовательно, нагрузка от катка передается участком пневмогусеницы, распространяющимся от него до середины межкаткового расстояния, при этом уменьшаясь от максимума под катком до минимума на середине межкаткового расстояния.

Преобразуем действительную эпюру давлений на участке АЕ (рисунок 2, *b*) в условную эпюру (рисунок 2, *c*). Объем условной эпюры равен объему заштрихованных участков действительной эпюры в интервале АЕ. Величины давлений на обоих эпюрах связаны между собой зависимостью:

$$q_0 = q / (k_{np} k_i), \quad (4)$$

где q_0 – давление на условной эпюре; q – действительное давление; $k_{qp} = q_{p \max} / q_{pm}$ – коэффициент неравномерности распределения давления пневмоэлементом, представляющий собой отношение максимального $q_{p \max}$ и среднего q_{pm} давления на опорную поверхность по пятну контакта пневмоэлемента [5]; $k_i = t/l$ – коэффициент плотности расположения пневмоэлементов, равный отношению шага t пневмогусеницы к длине l пневмоэлемента.

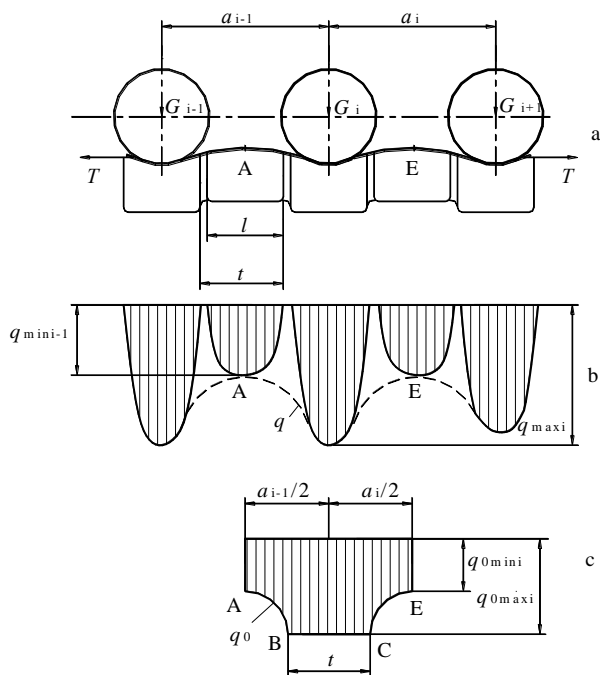


Рисунок 2 – Расчетная схема распределения давлений под средним опорным катком пневмогусеничного движителя: a – схема движителя; b – действительная эпюра давлений; c – условная эпюра давлений

Рассмотрим условную эпюру. Она имеет три участка: ВС, АВ и СЕ. На участке ВС максимальные давления $q_{0 \max i}$. Они действуют на пневмоэлемент находящийся под опорным катком. Нагрузку G_{ii} на участок ВС, как видно из рисунка, можно выразить уравнением:

$$G_{ii} = b \cdot t \cdot q_{0 \max i}, \quad (5)$$

где b – ширина пневмогусеницы.

На участках АВ и СЕ давления возникают вследствие восстановления упругих деформаций пневмоэлементов и почвы. Равновесие силовой ленты пневмогусеницы (рисунок 3) описывается известным уравнение нити, лежащей на упругом основании:

$$T \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} - b \cdot k_{np} \cdot y = 0,$$

где T – сила натяжения пневмогусеницы.

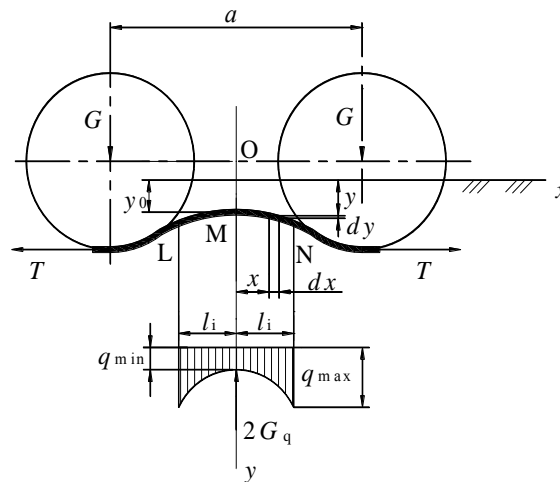


Рисунок 3 – Схема распределения давлений пневмогусеничной лентой между катками

Решение этого дифференциального уравнения известно и имеет вид:

$$y = y_0 \cdot \cosh(k_0 \cdot x), \quad (6)$$

где y_0 – деформация почвы и пневмогусеницы на середине межкаткового расстояния, $k_0 = \sqrt{b \cdot k_{np} / T}$ – вспомогательный коэффициент.

Подставляя уравнение (6) в (3) получим:

$$q = k_{np} \cdot y_0 \cdot \cosh(k_0 \cdot x), \quad (7)$$

Просуммировав давления на гусеницу на участке $l_i = (a - t)/2$, определим нагрузку G_q , приходящуюся на этот же участок:

$$G_q = y_0 \cdot \frac{b \cdot k_{np}}{k_0} \cdot \sinh(k_0 \cdot l_i), \quad (8)$$

Выражая y_0 из формулы (8) и подставляя его в формулу (7), получим уравнение, характеризующее распределение давлений на участке LN (рисунок 3):

$$q = \frac{G_q \cdot k_0 \cdot \cosh(k_0 \cdot x)}{b \cdot \sinh(k_0 \cdot l_i)}.$$

В точках N и L при $x = l_i$ и $x = -l_i$ давления достигают максимума, q_{\max} :

$$q_{\max} = \frac{G_q \cdot k_0}{b \cdot \tanh(k_0 \cdot l_i)} . \quad (9)$$

В точке М при $x = 0$ давления достигают минимума, q_{\min} :

$$q_{\min} = \frac{G_q \cdot k_0}{b \cdot \sinh(k_0 \cdot l_i)} .$$

Неравномерность распределения давления можно оценивать отношением q_{\max} к q_{\min} :

$$q_{\max} / q_{\min} = \cosh(k_0 \cdot l_i) \quad (10)$$

Нагрузку, приходящуюся на участки пневмогусеницы АВ и СЕ (рисунок 2, с), выразим из зависимости (9), используя обозначения, принятые на рисунок 2: на участок АВ:

$$G_{qi-1} = q_{0\max i} \cdot b \cdot \tanh(k_0 \cdot l_{i-1}) / k_0 , \quad (11)$$

на участок СЕ

$$G_{qi} = q_{0\max i} \cdot b \cdot \tanh(k_0 \cdot l_i) / k_0 . \quad (12)$$

Нагрузка на каток G_i , передаваемая на грунт участком пневмогусеницы АЕ, равна сумме нагрузок, приходящихся на участки АВ, ВС и СЕ, т. е.

$$G_i = G_{qi-1} + G_{ii} + G_{qi} . \quad (13)$$

Решая совместно уравнения (5), (11–13) относительно $q_{0\max i}$ и переходя к действительным давлениям с учетом зависимости (4), определим максимальное давление под i -м катком

$$q_{\max i} = \frac{k_{qp} \cdot k_i \cdot k_0 \cdot G_i}{b \cdot [k_0 \cdot t + \tanh(k_0 \cdot l_{i-1}) + \tanh(k_0 \cdot l_i)]} . \quad (14)$$

Решая совместно уравнения (14) и (10) определим минимальные давления под i -м катком, соответственно в точках А и Е

$$q_{\min i-1} = \frac{k_{qp} \cdot k_i \cdot k_0 \cdot G_i}{b \cosh(k_0 l_{i-1}) [k_0 t + \tanh(k_0 l_{i-1}) + \tanh(k_0 l_i)]} , \quad (15)$$

$$q_{\min i} = \frac{k_{qp} \cdot k_i \cdot k_0 \cdot G_i}{b \cosh(k_0 l_i) [k_0 t + \tanh(k_0 l_{i-1}) + \tanh(k_0 l_i)]} . \quad (16)$$

Распределение давления под крайними катками пневмогусеничного движителя

Распределение давлений пневмогусеницей под крайними катками имеет свои особенности. Условно назовем опорный каток с наклонной гусеничной ветвью – первым, ведущее (натяжное) колесо являющееся одновременно опорным – последним.

Рассмотрим распределение давлений пневмогусеницей под первым опорным катком (рисунок 4). Построим эпюры распределения давлений. На рисунке 4, б действительная эпюра, на рисунке 4, с – условная. Величины максимальных давлений на обоих эпюрах q_{\max} и $q_{0\max}$ связаны между собой зависимостью (4). Нагрузка G_1 , приходящаяся на каток, передается на грунт лобовым участком пневмогусеницы АВ, пневмоэлементом находящимся под катком ВС и участком пневмогусеницы СЕ: $l_1 = (a_1 - t) / 2$ (точка Е находится на середине межкаткового расстояния).

Нагрузки G_{i1} приходящаяся на участок ВС, и G_{q1} приходящаяся на участок СЕ, определены ранее и выражаются зависимостями (5) и (12) соответственно.

Определим нагрузку G_{q0} , приходящуюся на лобовой участок пневмогусеницы АВ. Деформация почвы и пневмоэлементов под лобовым участком гусеницы происходит по направлению вектора абсолютной скорости. Вследствие прогиба ветви на лобовом участке элементарные реакции грунта и пневмоэлементов направлены под разными углами к лобовой поверхности, что усложняет решение задачи. Для упрощения решения задачи примем, что лобовой участок представляет собой ровную поверхность, допустимость такого упрощения обоснована в работе [14].

Просуммировав элементарные реакции на участке АВ, получим нагрузку G_{q0} . Запишем ее с учетом зависимости (3):

$$G_{q0} = b \cdot k_{np} \int_0^{l_0} y dx . \quad (17)$$

Из геометрических соотношений (рисунок 4, а) и с учетом зависимости (3) получим:

$$y = x \cdot \tan(\alpha) ;$$

$$l_0 = q_{0\max 1} / (k_{np} \cdot \tan(\alpha)) .$$

Подставляя значения y и l_0 в зависимость (17) и интегрируя, получим:

$$G_{q0} = \frac{b \cdot q_{0\max 1}^2}{2 \cdot k_{np} \cdot \tan(\alpha)}. \quad (18)$$

Нагрузка на первый каток G_1 , передаваемая на почву участком пневмогусеницы АЕ, равна сумме нагрузок, приходящихся на участки АВ, ВС и СЕ, т. е.:

$$G_1 = G_{q0} + G_{r1} + G_{q1} \quad (19)$$

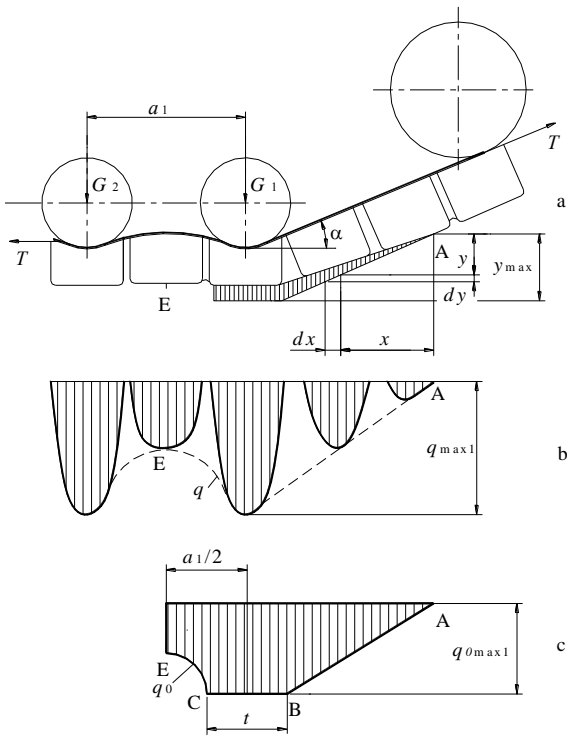


Рисунок 4 – Расчетная схема распределения давлений под передним опорным катком пневмогусеничного движителя: *a* – схема движителя; *b* – действительная эпюра давлений; *c* – условная эпюра давлений

Решая совместно уравнения (5), (12), (18), (19) и переходя к действительным давлениям с учетом зависимости (4), получим:

$$G_1 = \frac{b \cdot q_{\max 1}^2}{2 \cdot k_{np} \cdot k_t^2 \cdot k_{qp}^2 \cdot \tan(\alpha)} + \frac{q_{\max 1} \cdot b \cdot [k_0 \cdot t + \tanh(k_0 \cdot l_1)]}{k_t \cdot k_{qp} \cdot k_0}. \quad (20)$$

Полученное квадратное уравнение легко решается относительно $q_{\max 1}$.

Рассмотрим случай, когда роль первого или последнего опорного катка выполняет натяжное или ведущее колесо (рисунок 5). Построим действительную (рисунок 5, *b*) и условную (ри-

сунк 5, *c*) эпюры давлений. Нагрузка G_{qn-1} , приходящаяся на участок СЕ определяется зависимостью (11), на участок ВС приходится нагрузка $G_{in}/2$, G_{in} определяется зависимостью (5).

Определим нагрузку G_{qn} , приходящуюся на участок АВ, просуммировав элементарные реакции, приходящиеся на этот участок. С учетом зависимости (3) запишем:

$$G_{qn} = b \cdot k_{np} \cdot \int_0^{l_n} y dx. \quad (21)$$

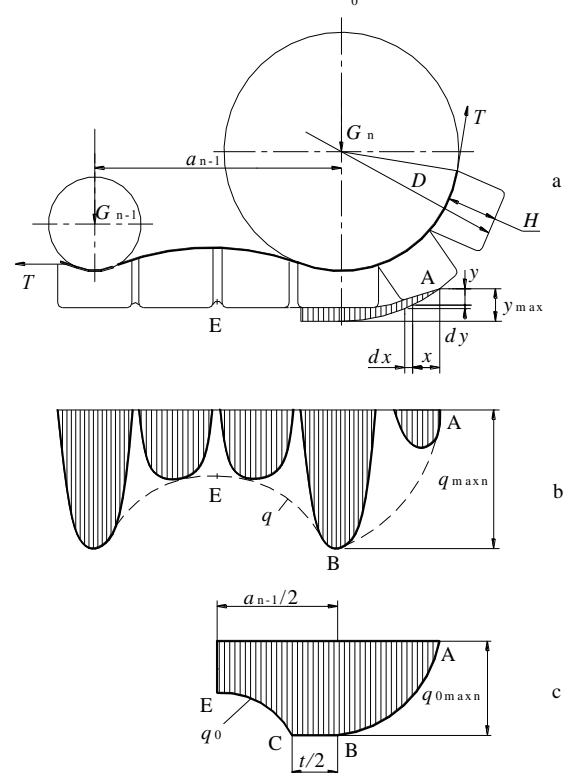


Рисунок 5 – Расчетная схема распределения давлений под последним опорным катком пневмогусеничного движителя: *a* – схема движителя; *b* – действительная эпюра давлений; *c* – условная эпюра давлений

Из геометрических соотношений (рисунок 5, *a*) имеем:

$$x = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - y_{\max}\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left[\frac{D}{2} - (y_{\max} - y)\right]^2} \approx \sqrt{D y_{\max}} - \sqrt{D (y_{\max} - y)}$$

Дифференцируя, получим

$$dx = \sqrt{D dy} / (2\sqrt{y_{\max} - y}).$$

Поменяем переменные в уравнении (21)

$$G_{qn} = \frac{6k_{np} \sqrt{D}}{2} \int_0^{y_{max}} \frac{y dy}{\sqrt{y_{max} - y}}$$

Проинтегрируем и с учетом значений получим

$$G_{qn} = \frac{2}{3} \cdot b \cdot \sqrt{\frac{D \cdot q_{0max}^3}{k_{np}}}$$

Просуммируем нагрузку, приходящую на участки АВ, ВС и СЕ и приравняем к нагрузке, приходящейся на колесо

$$G_n = G_{qn-1} + G_m / 2 + G_{qn}$$

Решая совместно уравнения (5), (23) и переходя к действительным с учетом зависимости (4), получим:

$$G_n = \frac{2b}{3} \sqrt{\frac{D q_{maxn}^3}{k_{np} k_{qp}^3 k_t^3}} + \frac{q_{nmax} b [k_0 t / 2 + \tanh(k)}{k_t k_{qp} k_0}$$

Вводя новую переменную $z = \sqrt{q_{maxn}}$, получим кубическое уравнение, которое легко решается относительно z .

Сравнение теоретических и экспериментальных эпюр распределения давлений

Для проверки адекватности полученных зависимостей (14–16), (20), (24), сравним рассчитанные по ним давления с экспериментальными. Экспериментальные [5] и расчетные (по формулам 14–16) эпюры распределения давлений под участком пневмогусеницы приведены на рисунке 6.

Коэффициент объемного смятия песка, на котором проводились стендовые исследования, приведенный к площади пневматической гусеницы $k = 1500 \text{ кН/м}^3$, коэффициент плотности расположения пневмоэлементов $k_t = 1$, шаг гусеницы $t = 0,175 \text{ м}$, расстояние между катками $a = 0,528 \text{ м}$, нагрузка на катки $G = 10 \text{ кН}$. Удельная нормальная жесткость пневмоэлементов c_z и коэффициент неравномерности распределения давления пневмоэлементами k_{qp} определялись по уравнениям (4) и (8) [5] соответственно. Геометрические параметры пневмоэлементов 400*175*130 приведены в таблице 1 [5]. Натяжение гусеницы T изменялось от 1 кН до 3 кН, давление воздуха

в пневмоэлементах p_w – от 20 кПа до 100 кПа. Расчетные эпюры распределения давлений качественно и количественно согласуются с экспериментальными эпюрами, расхождение максимальных давлений не превышает 12 %.

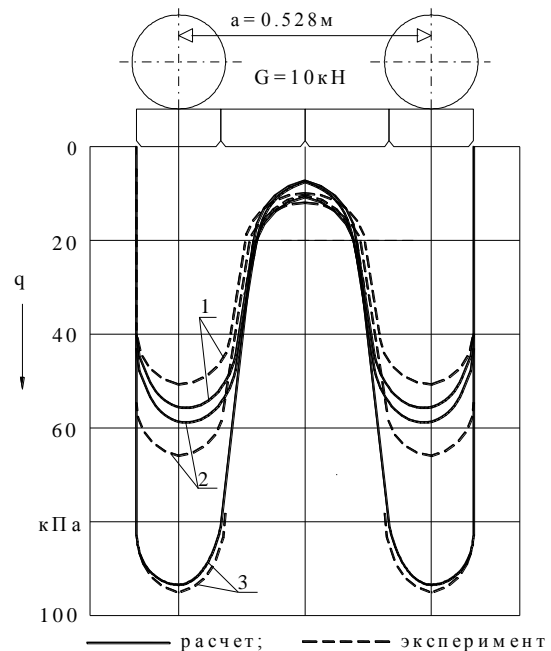


Рисунок 6 – Сравнение экспериментальных и расчетных эпюр распределения давлений под участком пневмогусеницы: 1 – $T = 1 \text{ кН}$, $p_w = 20 \text{ кПа}$; 2 – $T = 3 \text{ кН}$, $p_w = 60 \text{ кПа}$; 3 – $T = 1 \text{ кН}$, $p_w = 100 \text{ кПа}$

Теоретические (по формулам 14–16 и 24) и экспериментальные эпюры распределения давлений пневмогусеничным двигателем трактора ДТ-75ПГ «Руслан» [21] приведены на рисунке 7. Параметры трактора «Руслан», пневмогусеничного двигателя и торфяника (таблица 1 и рисунок 7) взяты из работ [21–23].

Таблица 1 – Параметры пневмогусеничного двигателя трактора ДТ -75 ПГ «Руслан»

№	Наименование	Значение
1	Шаг пневматической гусеницы t , м	0,316
2	Коэффициент плотности расположения пневмоэлементов k_t	1,37
3	Ширина пневмогусеницы b , м	0,65
4	Натяжение опорной ветви пневмогусеницы, кН	8
5	Коэффициент удельной нормальной жесткости пневмоэлемента c_z , кН/м ³	740
6	Коэффициент неравномерности распределения давлений пневмоэлементом k_{qp}	1,19
7	Коэффициент объемного смятия торфяника k , кН/м ³	1600
8	Диаметр натяжного колеса вместе с пневмогусеницей D_n , м	1,14
9	Диаметр ведущего колеса вместе с пневмогусеницей D_b , м	1,10

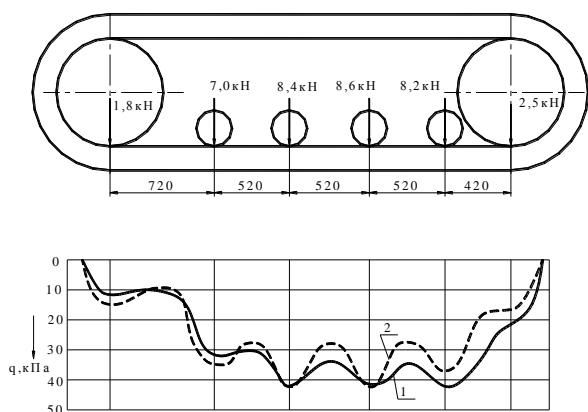


Рисунок 7 – Сравнение экспериментальных и расчетных эпюр распределения давлений под пневмогусеничным двигателем трактора: 1 – расчет; 2 – эксперимент

Заключение

Получены теоретические зависимости (14–16, 20 и 24) для определения максимальных давлений под опорными катками гусеничного движителя с упругими траками (в частности пневмогусеничного). Они позволяют строить эпюры и определять закономерности распределения давлений гусеничным движителем с упругими траками, выбирать параметры движителя по критерию допустимых давлений на почву. Расчетные эпюры распределения давлений качественно и количественно согласуются с экспериментальными эпюрами, расхождение максимальных давлений не превышает 20 %.

Литература

1. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks / G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni // *Biosystems Engineering*. – 2012. – Vol. 111. – P. 57–63.
2. Rasool, S. Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks / S. Rasool, H. Raheman // *Biosystems Engineering*. – 2018. – Vol. 167. – P. 51–62.
3. A Simple Rubber Crawler Model for Studying Fluctuation in Crawler Tension / T. Fukushima, E. Inoue, M. Mitsuoka, K. Sato, T. Oguri // *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. – 2018. – Vol. 14. – No. 3. – P. 122–126.
4. Коробкин, В. А. Гусеничный трактор общего назначения «Беларус 1802» / В. А. Коробкин // *Международный аграрный журнал*. – 2001. – № 9. – С. 46–48.
5. Zhdanovich, Ch. Experimental study of pneumatic track propulsion systems / Ch. Zhdanovich // *Agricultural Machine Systems*. – SP-1383, SAE, – 1998. – P. 23–28.
6. Boikov, V. Design Development of Elastic Wheel – Track and Traction Susyems of Trachtors and Agricultural Machines / V. Boikov,

Ch. Zhdanovich, S. Sizova // *Belt and Tire Traction in Agricultural Vehicles*. – SP-1291, SAE, – 1997. – P. 95–99.

7. Zhdanovich, Ch. Comparison of wheel, metal-track and pneumatic-track harvester's propulsion systems / Ch. Zhdanovich, V. Boikov // *Journal of Commerical Vehicles, Section 2*. SAE Transactions. – 1999. – Vol. 108. – P. 93–98

8. Эластично-упругая опора транспортного средства: а. с. SU 1439023 / П. В. Зеленый, В. П. Бойков, Ч. И. Жданович, А. М. Статкевич. – опубл. 23.11.88.

9. Лапик, В. П. Совершенствование гусеничного движителя сельскохозяйственного транспортного средства / В. П. Лапик, П. В. Лапик, Е. С. Адылина // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2021. – № 6 (88). – С. 39–43.

10. Лапик, В. П. Исследование влияния конструктивных параметров гусеничного движителя с эластичными опорными устройствами на неравномерность распределения давления на почву / В. П. Лапик, А. Е. Кузнецов. П. В. Лапик // «Вестник» «МГАУ им. В. П. Горячкина». *Агроинженерия*. – 2017. – № 3(79). – С. 7–12.

11. Лапик, В. П. Снижение отрицательного воздействия на переувлажненные почвы гусеничных движителей кормоуборочных машин путем применения резинокордных траков / В. П. Лапик, И. П. Адылин // *Вестник Брянской ГСХА*. – 2011. – № 1. – С. 28–31.

12. Беккер, М. Г. Введение в теорию систем местность-машина / М. Г. Беккер – Москва, «Машиностроение», 1973. – 520 с.

13. Васильев, А. В. Влияние конструктивных параметров гусеничного трактора на его тягово-цепные свойства / А. В. Васильев, Е. Н. Докучаева, О. Л. Уткин-Любовцев – Москва, «Машиностроение», 1969. – 192 с.

14. Тракторы: Теория / Под общ. ред. В. В. Гуськова. – Москва, Машиностроение, 1988. – 376 с.

15. Забавников, Н. А. Основы теории транспортных гусеничных машин / Н. А. Забавников – Москва, Машиностроение, 1975. – 448 с.

16. Кацигин, В. В. Некоторые экспериментально-теоретические обоснования энергетических средств для мелиоративных и культурно-технических работ на болотах / В. В. Кацигин, Б. Н. Янушкевич // *Труды научно-технической конференции 1956 года*. Минск, Госиздат БССР. – 1958. – С. 42–84.

17. Опейко Ф. А. Колесный и гусеничный ход / Ф. А. Опейко. – Минск, АСХН БССР, 1960. – 228 с.

18. Żdanowicz, Cz. Określenie rozkładu nacisku gąsienicy gumowej na glebę / Cz. Żdanowicz // Problemy inżynierii rolniczej. – Warszawa, 1999. – Nr 1(23). – S. 13–20.

19. Жданович, Ч. И. Давления на почву под резиногоусеничным двигателем трактора / Ч. И. Жданович // Inżynieria systemów bioagrotechnicznych. – 2001. – Zeszyt 8. – S. 319–324.

20. Бойков, В. П. Обоснование зависимости между сжимающими напряжениями и осадкой почвы / В. П. Бойков, Ч. И. Жданович, А. Н. Орда // Ekologiczne aspekty mechanizacji nawożenia, ochrony roślin i uprawy gleby: recenzowane Materiały V Międzynarodowego Sympozjum. – Warszawa. – 1998. – S. 161–168.

21. Танклевский, М. М. Пути снижения затрат энергии на деформирование торфяной залежи ходовыми устройствами мобильных машин / М. М. Танклевский // Торфяная промышленность. – 1981. – № 1. – С. 12–13.

22. Танклевский, М. М. Пневмогусеничный трактор «Руслан» / М. М. Танклевский // Промышленный транспорт. – 1978. – № 12. – С. 13.

23. Танклевский, М. М. Снижение затрат энергии при взаимодействии ходовых устройств с почвой / М. М. Танклевский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. – № 11. – с. 13–15.

UDC 629.3.03

ZHDANOVICH Cheslav I., Ph. D. in Engineering, Associate Professor,
Associate Professor
E-mail: chzhdanovich@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 August 2023

REGULARITIES OF PRESSURE DISTRIBUTION UNDER A CRAWLER WITH ELASTIC TRACKS

It is possible to increase the efficiency of an agricultural tractor and reduce the pressure on the soil by installing a crawler with elastic tracks on it, for example, using a pneumatic caterpillar or a caterpillar with rubber-cord tracks. To develop a design and select rational parameters of such a propulsor, it is necessary to know the patterns of pressure distribution under the caterpillar, the relationship between the parameters of the caterpillar propulsor and the maximum pressures arising under it. The process of interaction of a caterpillar with a deformable base is considered and the dependences of the pressure distribution under a crawler with elastic tracks on its design parameters and physical and mechanical properties of the soil are established. Theoretical dependences are obtained for determining the maximum pressures under the support rollers of the pneumatic track mover. They allow you to plot and determine the patterns of pressure distribution under a crawler with elastic tracks, select the parameters of the mover according to the criterion of permissible pressures on the soil. The calculated pressure distribution plots are qualitatively and quantitatively consistent with the experimental plots, the discrepancy of the maximum pressures does not exceed 20 %.

Keywords: agricultural tractor, running system, tracks with elastic tracks, pneumatic track, rubber-cord tracks, dependencies for determining pressures, pressure on the soil

References

1. Molari G., Bellentani L., Guarnieri A., Walker M., Sedoni E. *Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks*. Biosystems Engineering, 2012, vol. 111, pp. 57–63.

2. Rasool S., Raheman H. *Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks*. Biosystems Engineering, 2018, vol. 167, pp. 51–62.

3. Fukushima T., Inoue E., Mitsuoka M., Sato K., Oguri T. *A Simple Rubber Crawler Model for Studying Fluctuation in Crawler Tension*. Engineering in Agriculture, Environment and Food, 2018, vol. 14, no. 3, pp. 122–126.
4. Korobkin V. A. *General purpose crawler tractor «Belarus 1802»*. International Agricultural Journal, 2001, No. 9, pp. 46–48 (in Russian).
5. Zhdanovich Ch. *Experimental study of pneumatic track propulsion systems*. Agricultural Machine Systems. SP-1383, SAE, 1998, pp. 23–28.
6. Boikov V., Zhdanovich Ch., Sizova S. *Design Development of Elastic Wheel – Track and Traction Systems of Tractors and Agricultural Machines*. Belt and Tire Traction in Agricultural Vehicles. SP-1291, SAE, 1997, pp. 95–99.
7. Zhdanovich Ch., Boikov V. *Comparison of wheel, metal-track and pneumatic-track harvester's propulsion systems*. Journal of Commercial Vehicles, Section 2. SAE Transactions, 1999, vol. 108, pp. 93–98.
8. *Elastic-elastic support of the vehicle*: A. S. SU 1439023 / P. V. Zeleny, V. P. Boikov, Ch. I. Zhdanovich, A. M. Statkevich. publ. 11/23/88 (in Russian).
9. Lapik V. P., Lapik P. V., Adylina E. S. *Improvement of the caterpillar propulsion of an agricultural vehicle*. Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy, 2021, No. 6 (88). – pp. 39–43 (in Russian).
10. Lapik V. P., Kuznetsov A. E., Lapik P. V. *Investigation of the influence of the design parameters of a crawler with elastic support devices on the uneven distribution of pressure on the soil*. Vestnik «MGAU named after V. P. Goryachkin». Agroengineering, 2017, No. 3(79), pp. 7–12 (in Russian).
11. Lapik V. P., Adylin I. P. *Reduction of the negative impact on waterlogged soils of caterpillar propellers of forage harvesters by using rubber-cord trucks* Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy, 2011, No. 1, pp. 28–31 (in Russian).
12. Becker M. G. *Introduction to the theory of terrain-machine systems*. Moscow, «Mechanical Engineering», 1973, 520 p. (in Russian).
13. Vasiliev A. V., Dokuchaeva E. N., Utkin-Lyubovtsev O. L. *The influence of the design parameters of a tracked tractor on its traction properties*. Moscow, "Mechanical Engineering", 1969, 192 p. (in Russian).
14. *Tractors: Theory*. Under the general editorship of V. V. Guskov. Moscow, Mashinostroenie, 1988, 376 p. (in Russian).
15. Zabavnikov N. A. *Fundamentals of the theory of transport tracked vehicles*. Moscow, Mashinostroenie, 1975, 448 p. (in Russian).
16. Katsygin V. V., Yanushkevich B. N. *Some experimental and theoretical substantiations of energy resources for reclamation and cultural and technical works in swamps*. Proceedings of the scientific and technical conference of 1956. Minsk, Gosizdat of the BSSR, 1958, pp. 42–84 (in Russian).
17. Opeyko F. A. *Wheel and track running*. Minsk, ASKHN BSSR, 1960, 228 p. (in Russian).
18. Zhdanovich Ch. *Determination of the distribution of the pressure of the rubber track on the soil*. Problems of Agricultural Engineering, Warsaw, 1999, no 1(23), pp. 13–20 (in Polish).
19. Zhdanovich Ch. *Pressure on the soil under the tractor's rubber track*. Bioagrotechnical systems engineering, 2001, Notebook 8, pp. 319–324 (in Russian).
20. Boikov V. P., Zhdanovich Ch. I., Orda A. N. *Substantiation of the dependence between compressive stresses and soil sedimentation*. Ecological aspects of mechanization of fertilization, plant protection and soil cultivation: peer-reviewed materials of the V International Symposium. Warsaw, 1998, pp. 161–168 (in Russian).
21. Tanklevsky M. M. *Ways to reduce energy costs for deformation of peat deposits by running devices of mobile machines*. Peat industry, 1981, No. 1, pp. 12–13 (in Russian).
22. Tanklevskii M. M. *Pneumohusenichny tractor «Ruslan»*. Industrial transport, 1978, No.12, p. 13.
23. Tanklevsky M. M. *Reduction of energy costs in the interaction of running gear with soil*. Mechanization and electrification of agriculture, 1984, No. 11, pp. 13–15 (in Russian).

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 структу-

ра): 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 формулах) *набираются только с помощью ре-*

доктора 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 РАСМОТРЕНИЮ 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 5

Подписано в печать 16.11.2023. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 15,93. Уч.-изд. л. 11,46. Тираж 50. Заказ 951.

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.