

ТРАНСПОРТ
НАУКА, ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ
НАУЧНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК
TRANSPORT
SCIENCE, EQUIPMENT, MANAGEMENT
SCIENTIFIC INFORMATION COLLECTION

Издается с 1990 г.

№ 2

Москва 2019

Научный информационный сборник «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление» включен в новый ПЕРЕЧЕНЬ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидатов наук, на соискание ученой степени докторов наук (Перечень ВАК). Действует с 01.12.2015.

СОДЕРЖАНИЕ

Шмелевич М.И. Технология блокчейн и перспективы ее применения в транспортно-логистических системах	3
Агеев А.М., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Сравнение каналов управления высотой полета летательного аппарата с элементами нечеткой логики при различных алгоритмах нечеткого вывода	8
Шведов В.Е., Утушкина А.Е. Модели работы перевалочных складов на воздушном транспорте	17
Тиверовский В.И. Складская логистика на пути в цифровое будущее	23
Селиверстов С.А., Яковенко О.Л., Селиверстов Я.А., Никитин К.В., Черемисина А.А., Выдрина Е.О. Имитационное моделирование нагруженного перекрестка улично-дорожной сети с использованием программных комплексов управления интеллектуальной транспортной системой	28
Грушников В.А. Об эффективности автомобильных устройств пассивной безопасности	41
Мухаметдинов Э.М., Габзалихова Л.М., Гарипов Р.И. Передача грузов в сопряжениях сцепления автомобиля для разработки диагностической модели	47
Денисов И.В., Смирнов А.А. Надежность передней подвески автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2017 в эксплуатации	51
Макарова И.В., Мухаметдинов Э.М., Габзалихова Л.М., Капитонов А.А. Система планирования и контроля работ при техническом обслуживании и текущем ремонте автомобильной техники	56
Антониади Г.Д., Архипов В.Г., Цуприков А.А. Анализ модели задержки автомобильного транспорта М.Дж. Бэкманна	61
Чибухчян Г.С. Городской транспорт Еревана: проблемы и решения	65
Информация для авторов	69

CONTENTS

Shmulevich M.I. Blockchain Technology and Prospects of Its Application in Transport and Logistics Systems	3
Ageev A.M., Zamyslov M.A., Maltsev A.M., Mikhaylenko S.B. Comparison of the Height Control Channels of an Aircraft Flight with the Elements of Fuzzy Logic Using Various Fuzzy Conclusion Algorithms	8
Shvedov V.E., Utushkina A.E. Models of Operation of Transshipment Warehouses in Air Transport	17
Tiverovsky V.I. Warehousing Logistics on the Way to Digital Future	23
Seliverstov S.A., Iakovenko O.L., Seliverstov Ya.A., Nikitin K.V., Cheremisina A.A., Vydrina E.O. Simulation Modelling of a Loaded Crossroads Using Software Packages for Control of Intelligent Transport Systems.....	28
Grushnikov V.A. On the Efficiency of Automobile Devices of Passive Safety.....	41
Mukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M., Garipov R.I. Transfer of Loads in Car Clutch Connections for Development of a Diagnostic Model.....	47
Denisov I.V., Smirnov A.A. Reliability of the Front Car Suspension of VAZ-2105, VAZ-2107 in Operation.....	51
Makarova I.V., Mukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M. Kapitonov A.A. System for Planning and Control of the Works during Technical Maintenance of the Automotive Vehicles	56
Antoniadi G.D., Arkhipov V.O., Tsouprikov A.A. Analysis of Beckmann Model of Delays of Motor Transport.....	61
Chibukhchyan G.S. Public Transport of Yerevan: Problems and Solutions.....	65
The Information for Authors	69

Вниманию авторов и читателей!

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СБОРНИКА

(по состоянию на 12.01.2019 г.)

Наукометрический показатель	Значение
Двухлетний импакт-фактор в РИНЦ	0,509
Двухлетний импакт-фактор с учетом цитирования из всех источников	0,733
Пятилетний импакт-фактор в РИНЦ	0,277
Число статей за год в РИНЦ	131

Сборник занимает 38-е место в рейтинге SCIENCE INDEX по тематике «Транспорт».

ТЕХНОЛОГИЯ БЛОКЧЕЙН И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Доктор техн. наук, профессор **Шмелевич М.И.**
(ЗАО Промтрансниипроект, Российский университет транспорта. МИИТ)

BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND PROSPECTS OF ITS APPLICATION IN TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS

Shmulevich M.I., Doctor (Tech.), Professor
(ZAO Promtransniiprojekt, Russian University of Transport. MIIT)

Блокчейн, база данных, криптография, смарт-контракты, информационная система, транспортно-логистические системы, цепь поставок, внутризаводские перевозки.

Blockchain, database, cryptography, smart contracts, information system, transport and logistics system, supply chain, intra-plant transportation.

Рассмотрены структура системы и технология блокчейн, ее особенности и преимущества при работе с распределенными ресурсами. Описаны опыт и перспективы использования технологии блокчейн в транспортно-логистических системах, возможности ее применения при внешних и внутризаводских перевозках грузов промышленных предприятий.

The article deals with the structure of blockchain systems and technology, its features and advantages when working with distributed resources. The article describes the experience and prospects of using blockchain technology in transport and logistics systems, the possibility of its application in external and internal transportation of goods of industrial enterprises.

Среди основных новинок, ставших в последние годы прорывными в области цифровых технологий, прежде всего следует назвать три: Облачные технологии (*Cloud Technology*), Большие данные (*Big Data*) и Блокчейн (*Blockchain*).

Блокчейн (цепочка блоков) приобрел известность благодаря тому, что на этой технологии основаны активно пробивающиеся на финансовый рынок криптовалюты (биткоин и другие), но вскоре выяснилось, что возможности блокчейна значительно шире финансовых транзакций.

Блокчейн – это децентрализованная база данных, часто называемая электронной таблицей или цифровой книгой, которую поддерживает и обновляет сеть участвующих в ней узлов (компьютеров).

Каждая новая запись (блок), вводимая в сеть, автоматически привязывается ко времени её появления и связывается с предыдущим блоком в хронологическом порядке, причем это обновление появляется у всех участников сети. Каждый блок содержит информацию о предыдущем блоке, поэтому запись не может быть изменена задним числом или удалена после её появления, так как это потребует изменения всех последующих блоков, которые «прикованы» друг к другу. Запись может быть общедоступной, а может быть открытой лишь для владельца специального (закрытого) кода.

У каждого узла есть копия всей цепи, вся история её изменений, синхронизированная с другими узлами, поэтому отпадает необходимость в центральном органе, обеспечивающем защищенность информации – это достигается самой структурой сети и технологией её работы.

Таким образом, технология блокчейна обеспечивает всех участников системы актуальными данными в любой момент, гарантирует невозможность злоупотре-

бий и искажения данных, повышает доверие между участниками, обеспечивает открытость информации (при этом сохраняя возможность конфиденциальности части данных). Кроме того, блокчейн ускоряет обработку данных в информационной системе и удешевляет её, исключая из цепи посредников.

К достоинствам блокчейна следует также отнести легкость аудита и контроля платежей; наконец, в случае возникновения конфликтной ситуации и судебного разбирательства между участниками цепочки блокчейн существенно упрощает решение проблемы.

Технология блокчейна впервые была представлена Satoshi Nakamoto [1] в 2009 г. как основа *криптовалюты* (биткоина). Была создана платежная система, основанная на криптографическом, неизменяемом подтверждении платежа, что заменяет и делает ненужным центральный «гарантирующий» орган (банк).

Биткоин был первым приложением, которое использовало технологию блокчейн. Каждый участник цепи имеет закрытый и открытый (известный всем участникам цепи) ключи. Плательщик для подтверждения своего права на переводимую сумму использует свой закрытый ключ, а для идентификации получателя – его открытый ключ. Для утверждения транзакции программное обеспечение блокчейна просит участников сети подтвердить действительность платежа, после чего все остальные узлы сети информируются о том, что баланс (платёж) плательщика переведен получателю. Аутентификация транзакций, сгруппированных в блок, выполняется в результате решения сложной криптографической задачи.

Блокчейн – место для записи всех транзакций, всех платежей, которые доступны для наблюдения всеми участниками сети, что делает систему абсолютно надежной без центрального банка или государства. Крип-

товалюта не может быть изъята, её хранение бесплатно, она легко транспортируется, для входа в систему необходим лишь закрытый ключ, хранящийся на флешке или в облаке.

Технология блокчейн делает цикл расчётов менее трудоемким, увеличивает скорость платежей, гарантирует блокировку средств до тех пор, пока каждая из сторон не введет информацию о согласии с действиями партнеров.

К настоящему времени блокчейн вышел далеко за пределы криптовалют и является технологической и информационной базой, обеспечивающей новый, чрезвычайно удобный и выгодный способ решения многих задач.

Основные элементы, обеспечивающие работу по технологии блокчейн: *узлы* (компьютеры со специальным программным обеспечением, поддерживающим блокчейн); *сеть*, объединяющая эти узлы при запуске программ блокчейн. *Транзакции* отправляются пользователями на узлы сети, которые пересылают их на другие узлы, при этом проверяя и отбраковывая недопустимые. Группа транзакций собирается узлами в пакет (*блок*), который формируется по определенным правилам (размер блока, количество транзакций, ссылка на предыдущий блок и др.). *Цепочка блоков*, каждый из которых присоединен к последнему действительному блоку, и есть блокчейн. Все узлы в блокчейне должны работать в режиме консенсуса. Для обеспечения целостности цепочки транзакций и защите её от ошибок, взломов или несанкционированных изменений, в блокчейне используются *хеш-функции*, преобразующие входные массивы произвольной длины в хеш (запись определенной длины), как правило, уникальную для каждого входного массива, на основе заданного алгоритма.

Блокчейн развивается, характеристики его архитектуры определяются пропускной способностью (количеством отправок транзакций в секунду), продолжительностью проверки транзакций, способностью узлов передавать конфиденциальную информацию, требованиями к аппаратуре (процессору, сети), масштабируемостью (влиянием увеличения числа узлов, транзакций, пользователей на производительность системы) и др. [2].

Разработано несколько открытых платформ, позволяющих реализовать технологию блокчейн. Одна из них – *Ethereum*, использующая специальный язык «Turing complete», характеризуется высоким уровнем безопасности и отказоустойчивости. Платформа *IBM Open Blockchain (IBM OBC)* создана для использования в различных сетях с различными функциями и рассматривается как шаг к созданию межотраслевого стандарта. В ней также используется «Turing complete». Еще одна открытая блокчейн-платформа – *ErisDB*, поддерживающая *EVM (Ethereum Virtual Machine)* и все написанные для *Ethereum* тексты и др.

Фирма Linux Foundation организовала международный блокчейн-консорциум *Hyperledger*, задача которого – создание единой блокчейн-платформы с открытым исходным кодом, которая позволит всем желающим внедрять технологию блокчейн в свои бизнес-процессы.

Говоря о достоинствах блокчейна, необходимо отметить такой способ его использования, как **смарт-контракты**. По существу смарт-контракт – это закодированный контракт, дополненный четко прописан-

ным алгоритмом реализации его условий. Смарт-контракт загружается в блокчейн. Записанная в контракте логика договорных отношений, лишенная каких бы то ни было неопределенностей и двусмысленностей, реализуется блокчейном автоматически в соответствии с условиями договора при выполнении сторонами своих обязательств в полном объеме, т.е. программа смарт-контракта запускается удаленно через блокчейн при выполнении заданных условий. Возможны некоторые дополнения к контракту, например, ввод нескольких цифровых подписей для одобрения сделки участниками или зависимость от некоторых реальных данных, мониторинг и проверку которых выполняют системы, называемые «оракулами». Смарт-контракты делают выполнение договорных условий проще, эффективнее, процессы контролируются автоматически.

Разумеется, работа по смарт-контрактам требует от исполнителей четкой организации их выполнения с формализацией операционных процедур.

В разных странах мира блокчейн нашел применение в самых разнообразных сферах деятельности:

в управлении недвижимостью (ведение земельного кадастра, значительно снижающее количество споров и экономящее время);

в доставке лекарств, содержащих наркотические вещества, конечным потребителям. Блокчейн делает эту процедуру прозрачной и безопасной, предотвращает кражи и манипуляции с ценами;

в работе государственных органов (контроль сделок, их прозрачность для налогообложения; доведение денежных средств до пунктов назначения, ликвидация их нецелевого использования) и др.

Блокчейн идеально подходит для работы с распределенным в пространстве и во времени ресурсом, и именно поэтому одной из перспективных сфер эффективного применения технологии блокчейн являются транспортно-логистические системы и цепи поставок [3].

Для *транспортно-логистической системы* характерно большое число участников перевозки: производители товара; грузоотправители и грузополучатели; экспедиторы; перевозчики каждого из взаимодействующих видов транспорта; собственники подвижного состава и складов; таможенники и декларанты; инстанции, проверяющие и удостоверяющие качество перевозимого продукта; финансовые органы и др.

В этих условиях документальное оформление перевозки чрезвычайно сложно, многоэтапно, связано с затратами времени и во многих случаях превосходит по стоимости физическое перемещение груза более чем в 2 раза [3].

Кроме того, из-за отсутствия прозрачности в цепочке поставок получатель не может быть уверен в истинном месте и времени производства товара, его качественных характеристиках, обоснованной стоимости, отсутствии контрафакта и т.п., не говоря уже о возможности отклонений от запланированного графика перевозок в любом месте маршрута [4].

По мнению экспертов [3], несовершенство бизнес-процессов, связанных с цепочками поставок, и возникающие при этом барьеры приводят к потерям, не меньшим 5% ВВП.

Большая часть этих проблем может быть решена на основе блокчейна, когда каждый из участников транспортной цепочки вносит свою проверяемую и неизменяемую информацию в общую информационную базу:

о времени и месте выполнения каждой операции – от производства товара до его получения конечным потребителем, о пунктах хранения, о сертификатах качества и состоянии товара, о транспортных средствах и перевозчиках, о взаиморасчетах и др.

Сама архитектура блокчейна обеспечивает основные преимущества этой технологии: прозрачность, в том числе для клиентов и для аудита, безопасность, автономность (отсутствие стороннего регулятора). Достигается сокращение документооборота благодаря доступности всей информации для всех участников, исключаяющей необходимость переписки; невозможность подделки или изменения ранее введенных данных; защищенность от взломов и кибератак, поскольку информация хранится во многих компьютерах; онлайн-контроль процесса транспортировки и хранения груза на всех его стадиях, т.е. полная информация о его местонахождении и состоянии; снижение стоимости перевозки за счет исключения многочисленных посредников; ускорение передачи и обработки данных, что во многих случаях приводит и к ускорению процесса перевозки.

Блокчейн сам по себе не оптимизирует управление транспортным процессом, но он, помимо собственной эффективности, создает простую, полную и достоверную информационную базу, анализ которой позволяет принимать решения по оптимизации перевозок.

За последние 2-3 года различными компаниями выполнен ряд работ, направленных на совершенствование транспортно-логистических процессов на основе блокчейна.

Одной из первых такую попытку предприняла компания *IBM* [4], которая совместно с мировым лидером в области морских контейнерных перевозок датской компанией *Maersk* приступила к созданию глобальной защищенной оцифрованной системы перевозок «от двери до двери» на основе технологии блокчейн [5], начав с тестовой перевозки скоропортящегося груза (контейнера цветов) из порта Момбаса в Кении в порт Роттердам (Нидерланды). В такой перевозке участвуют производители, экспортеры, порты, таможня, импортеры, фискальные и контролирующие органы и др. При этом вводится около 200 сообщений – подписи трех агентств, одобряющих экспорт; оформление шести документов, описывающих происхождение продукта, его химическую обработку и качество; оплату таможенных пошлин и др. С переходом к блокчейну ферма оформляет упаковочный лист, который становится видимым для всех участников цепочки; это запускает смарт-контракт, который попадает на согласование трем агентствам. Одновременно информация о досмотре груза, погрузке контейнера на автомобиль и разрешении таможни передаются в порт Момбаса, что позволяет подготовиться к приему груза. И далее в блокчейн вводится вся информация – от погрузки на корабль и его отплытия до прохождения всех процедур в Роттердаме, передачи на автотранспорт и доставки получателю. В результате все действия с грузом и его местонахождение зафиксированы и общедоступны, известно когда, кем и какие документы подписаны, и всё это обновляется в режиме реального времени.

Maersk и *IBM* в 2017 г. провели еще несколько опытных перевозок по аналогичной схеме – от продукции *Schneider Electric* из порта Роттердам в порт

Ньюарк до перевозки авокадо из Кении и апельсинов из Китая в Европу.

По данным компании *Maersk*, 90% внешнеторгового грузооборота в мире осуществляется в контейнерах, при доставке каждого из них участвует до 30 звеньев транспортно-логистической цепи, между которыми происходит около 200 информационных взаимодействий. В 2017 г. через блокчейн прошло 10 млн контейнеров из 70 млн, ежегодно транспортируемых перевозчиком. При этом при стоимости транспортировки контейнера с фруктами из Кении в Нидерланды в 2000 дол. на документооборот уходит около 300 дол., а все морские контейнерные перевозчики могут сократить свои затраты на 38 млрд дол. в год [6]. Эти же данные – 30 участников международной перевозки контейнера и 200 информационных операций – сообщают представители порта Антверпен, объявившие о запуске пилотного блокчейн-проекта. Большую часть информации при использовании блокчейна можно реализовать с помощью РС или смартфона, что упраздняет огромное количество документации.

Другие примеры пилотных решений транспортно-логистических проблем на базе блокчейна:

система поставок пищевых продуктов из Китая в США, проект которой представлен одной из крупнейших компаний розничной торговли США *WalMart* в 2017 г. Здесь, как и в предыдущем примере, используется технология *IBM* (разработанная для *Hyperledger fabric*) [7]. *WalMart* считает, что система повысит эффективность управления запасами и обеспечит безопасность поставляемых продуктов питания, поскольку блокчейн позволяет в любой момент получить полную информацию о любой партии товара. *WalMart* запатентовала и смарт-посылки, при пересылке которых использована блокчейн-технология [8].

Provenance, интегратор программного обеспечения из Англии, использует технологию блокчейн для контроля всего «жизненного цикла» продуктов питания, считывая информацию о них с датчиков и RFID-меток и записывая её в цепь [4].

Компания *Wells Fargo* и Банк Содружества Австралии успешно использовали блокчейн и смарт-контракты при перевозке на контейнеровозе тюков хлопка из США в Китай (порт Циндао). Пробная перевозка показала, что блокчейн в сочетании со смарт-контрактами выгоден бизнесу. На полигоне между Австралией (Кунаварра) и Китаем (Циндао) была протестирована и более сложная цепь, включающая в себя автомобильный и морской транспорт. Использовался новый 44-разрядный (вместо стандартного 6-разрядного) криптографический код, обеспечивающий повышенную безопасность. Планируется, продолжив исследования, создать мировой стандарт безопасности глобальных цепей поставок [9].

Экспедитор из Великобритании *Marine Transport International* (MTI) протестировал в 2017 г. перевозку по технологии блокчейн контейнеров с переработанными отходами с участием морского и автомобильного транспорта, а также продавца, получателя, двух портовых терминалов, таможенных органов и других участников. По данным руководителей MTI, обмен цифровой информацией на 90% сократил документооборот и расходы на его обработку, переписку и телефонные звонки, поскольку общедоступность всей необходимой

информации позволяла планировать последующие действия [6].

Эффективность блокчейн-технологии привела к созданию в Нидерландах блокчейн-консорциума, куда вошли 15 транспортных компаний и крупнейший в Европе порт Роттердам. К сформированному в США альянсу «*Blockchain in transport Alliance*» (BiTA) присоединились около тысячи компаний, прямо или косвенно связанных с грузовыми автомобильными перевозками, в том числе известные операторские компании и представители ИТ-индустрии.

Облачный блокчейн-сервис разрабатывает *Microsoft* [9].

В BiTA изначально ставится вопрос о стандартизации состава сообщений, вводимых в систему каждым участником цепи – данных о заказе, о транспортной операции, о счете-фактуре и других сообщений. Вопрос о разработке стандартов чрезвычайно важен, его решение – необходимое условие успешной работы блокчейн-технологии, а разнообразие входящих в цепь операторов, относящихся к разным отраслям (производству, торговле, транспорту, финансам и др.), осложняет его решение, и в то же время усиливает необходимость такого решения и его потенциальную эффективность.

Ещё раз отметим, что блокчейн – это чисто информационная система, сама по себе не решающая никаких проблем оптимизации перевозок, но создающая основу для такой оптимизации. Это видно на примере развития сети *Fr8 Network*, созданной владельцем компании грузовых автомобильных перевозок *Lewisoholdings* Джоном Фоксом (США) и основанной полностью на технологии блокчейн. Прежде всего, это позволило компании ликвидировать посредников (брокеров), что сразу же снизило стоимость перевозок на 20%. На базе открытой информации начал создаваться открытый рынок (*Fr8 Market*) с участием грузовладельцев и перевозчиков, а это позволило уменьшить холостые пробеги в результате координации перевозок. Система предоставляет пользователям сведения об имеющихся перевозочных мощностях, стоимости перевозок и оперативно формируемый по специальному алгоритму рейтинг репутации грузоотправителей и перевозчиков, что создает доверительные отношения на рынке *Fr8*. Упрощение перевозок достигнуто дополнением цепочки блокчейн смарт-контрактами, которые, кроме прочего, предусматривают оперативное обеспечение пользователей информацией о продвижении его груза. Пользователи могут вводить данные с помощью смартфонов [11].

Первым шагом в использовании блокчейна на *Российских железных дорогах* можно считать создание электронной торговой площадки «Грузовые перевозки» (ЭТП ГП). Любой клиент, желающий отправить груз, зайдя через интернет на сайт ЭТП, может оставить заявку, обработав которую, система выдает варианты перевозки, их цены и сроки. В этой же сети перевозка оплачивается, а в процессе её реализации клиент может её отслеживать в режиме реального времени. Система построена на базе блокчейна *Emercoin*, в который добавлен соответствующий сервис [12].

Планируется создание отраслевой платформы РЖД на базе технологии блокчейн и её адаптация к различным сетевым технологическим процессам. В частности, к созданию в сети реестра цифровых паспортов подвижного состава, управления его эксплуатацией и обслуживанием [13].

Как и в любых информационных системах, часть информации может вводиться в блокчейн автоматически – с помощью систем идентификации подвижного состава, спутниковой навигации и др. Так, АО «Газпромнефть» протестировала блокчейн при перевозке арматуры для платформы «Приразломная» от изготовителя в Новгороде до Мурманска и далее до причала. На изделия были установлены радиочастотные датчики RFID и аппаратура спутниковой навигации. При отгрузке был сформирован и введен в блокчейн документ с информацией о параметрах поставки и производителе, сертификаты и отчеты инспекционного контроля на производстве, параметры готового изделия, сопроводительные и транспортные документы, в пути следования автоматически (через RFID и GPS/Глонасс) отслеживались и вводились в сеть сведения о движении груза и его размещении на складах. Вся эта информация фиксировалась смарт-контрактом [14,15].

Расширение технологии блокчейн за пределы РЖД, с включением в цепочку (хотя бы оставаясь в рамках железнодорожного транспорта) погрузочно-сбытовой системы предприятия-грузоотправителя, выгрузочно-сырьевой системы предприятия-грузополучателя и операторов (собственников) подвижного состава, при всей желательности такого сценария, требует решения вопроса о том, на чьей технической базе он может быть реализован. Это важно, так как система, реализующая блокчейн, не должна принадлежать одному из участников цепочки, иначе возникает ситуация, описанная Оруэллом: «Все люди равны, но одни более равны, чем другие».

При решении этой и других начальных проблем на такой (минимальной) конфигурации цепи могли бы быть отработаны для российских условий основные положения новой технологии: открытость и достоверность информации, контроль продвижения грузов, ликвидация многих бумажных документов и др.

На следующем этапе цепочка может быть расширена с включением в неё отгрузки экспортных грузов и связанных с этим звеньев цепи: таможенных органов и портов перевалки.

Наряду с цепями поставок на полигоне «*грузоотправитель – грузополучатель*» существует еще один участок с не менее сложной транспортной технологией: *внутризаводские перевозки* от приема предприятием сырья до отгрузки готовой продукции. При внутризаводских перевозках каждая тонна груза перегружается, в зависимости от отрасли промышленности, от 2-3 до 8-10 раз, при этом кроме железных дорог и автомобилей, используются конвейеры разных типов, рольганги, подъемники, краны, трубопроводы и другие виды промышленного транспорта, грузопотоки разветвляются и сливаются, причем потоки грузов (после их перегрузок) расходятся с потоками подвижного состава.

Отслеживание всех этих перемещений по технологии блокчейн может существенно улучшить информационную базу, необходимую для оперативного управления производством, и упростить её формирование.

Есть и другой аспект этой проблемы, более близкий к рассмотренным выше примерам. При анализе данных о пооперационной обработке вагонов, прибывших с внешней сети на крупное промышленное предприятие (эти данные, как правило, содержатся в транспортно-логистической подсистеме АСУ предприятия), мы убедились в их недостаточной достоверности. Эта инфор-

мация передается операторами различных служб предприятия – дежурными по станциям (постам) и приемосдатчиками железнодорожного цеха, мастерами и бригадирами погрузки и выгрузки производственных цехов, диспетчерами отдела сбыта и другими работниками, каждый из которых заинтересован в том, чтобы уменьшить свою ответственность за сверхнормативный простой вагонов и «улучшить» время выполнения операции в свою пользу.

Еще сложнее (если вообще возможно) определить по этим данным причины простоев: занятость пути, отсутствие маневрового локомотива, несвоевременная передача производственным цехом заявки на подачу или уборку вагонов, отсутствие груза (а при выгрузке – свободного места) на складе, простой на грузовом фронте из-за задержек на следующих этапах обработки вагона (например, в пункте очистки после выгрузки), простой из-за плановых или аварийных остановок технологических агрегатов (например, вагоноопрокидывателей), задержка выгрузки данного груза из-за первоочередной потребности в других материалах, задержка отделом сбыта вагонов с соответствующим грузом из-за его несвоевременной оплаты или из-за конъюнктуры рынка, ожидание разрешения собственника вагона на его отправление в требуемый адрес, простой готовых к отправлению вагонов из-за отсутствия на станции прицепки поездного локомотива или из-за неприема поезда станцией назначения и др.

Очевидно, насколько полезной может быть информация об этих процессах, полученная на основе технологии блокчейн: такая система не только упорядочит работу транспортно-грузового комплекса, но и позволит повысить качество управления промышленным предприятием в целом.

Литература

1. Nakamoto Satoshi. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. p.9 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bitcoin.pdf/> (Дата обращения 16.10.2018);
2. Kost de Sevres N., Kakavand H. The Blockchain Revolution: An Analysis of Regulation and Technology Related to Distributed Ledger Technologies. [pdf]. Jan. 2017, DLA Piper. p.28 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://s3.amazonaws.com/documents.lexology.com/fe8d66af-562e-4609-bc80-b77f948d1767.pdf/> (Дата обращения 15.10.2018);
3. Sadouskaya Krystina. Adoption of Blockchain Technology in Supply Chain and Logistics. Bachelor's Thesis. Business Logistics. April 2017. ХАМК. p.45. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://theseus.fi/bitstream/handle/10024/126/096/Adoption-of-Blockchain-Technology-in-Supply-Chain-and-Logistics.pdf/> (Дата обращения 15.10.2018);
4. Diskson Ben. Blockchain has the potential to revolutionize the supply chain. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://techcrunch.com/2016/11/24/blockchain-has-the-potential-to-revolutionize-the-supply-chain/> (Дата обращения 16.10.2018);
5. Lieber Aaron. Trust in Trade: Announcing a new blockchain partner. IBM Blockchain Blog. March 9, 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2017/03/trust-trade-announcing-new-blockchain-partner/> (Дата обращения 16.10.2018);

6. Калиниченко И. Логистика по блокчейну. PortNews на информационной волне. 3 ноября 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.portnews.ru/comments/2414/ (Дата обращения 16.10.2018);

7. Prisco G. WalMart Testing Blockchain Technology for Supply Chain Management. Dec. 21, 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bitcoinmagazine.com/articles/walmart-testing-blockchain-technology-for-supply-chain-management/> (Дата обращения 16.10.2018);

8. Блокчейн в ритейле и логистике: WalMart проводит эксперимент. 21 октября 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prague.bc.events.ru/news/blokcheyn-v-riteyle-i-logistike-walmart-provodit-eksperiment-58068/> (Дата обращения 10.10.2018);

9. Технология Blockchain в логистике. Logist.FM. 07.07.2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://logist.fm/publications/tehnologiya-blockchain-v-logistike/> (Дата обращения 16.10.2018);

10. Скотт Нельсон о трансформации глобальной цепочки поставок на конференции Internet of Agreements. BitNovosti. 28.01.2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bitnovosti.com/2018/01/28/skott-nelson-o-transformatsii-globalnoj-tsepochki-postavok-na-konferentsii-internet-of-agreements/> (Дата обращения 16.10.2018);

11. Солозобов Олег. Технология Blockchain полностью изменит грузоперевозки. IT тренды. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://8d9.ru/tehnologiya-blockchain-polnostyu-izmenit-gruzoperevozki/> (Дата обращения 16.10.2018);

12. РЖД начинает использовать блокчейн в грузоперевозках. Bits.media. 28.12.2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bits.media/rzhd-nachinaet-ispolzovat-blokcheyn-v-gruzoperevozkakh/> (Дата обращения 15.10.2018);

13. Харин О.В. Существует разрыв между пониманием целесообразности использования технологии блокчейн и её практическим применением. РЖД партнер.РУ 06.03.2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/interview/sushchestvuet-razryv-mezhdu-ponimaniem-tselesoobraznosti-ispolzovaniya-tehnologii-blokcheyn-i-ee-pr/> (Дата обращения 16.10.2018);

14. АБЛ. Блокчейн – как технология будущего будет использована в логистике. 23 мая 2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ablcompany.ru/news/blokcheyn-kak-tehnologiya-budushchego-budet-ispolzovana-v-logistike/> (Дата обращения 15.10.2018);

15. «Газпромнефть» испытала технологию блокчейн в логистике оборудования. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=9mMtVGp9HTU/> (Дата обращения 17.10.2018).

Сведения об авторе:

Шмулевич Михаил Израилевич, ЗАО «Промтранспроект», заместитель директора. 119331 Москва, пр. Вернадского, д.29.

Российский Университет транспорта (МИИТ), профессор.

E-mail: mikhail.shmulevich@gmail.com.

СРАВНЕНИЕ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОТОЙ ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ЭЛЕМЕНТАМИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМАХ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Кандидат техн. наук, доцент **Агеев А.М.**,
кандидат техн. наук, старший научный сотрудник **Замыслов М.А.**,
кандидат техн. наук, доцент **Мальцев А.М.**,
кандидат техн. наук, старший научный сотрудник **Михайленко С.Б.**
(Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия
имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»)

COMPARISON OF THE HEIGHT CONTROL CHANNELS OF AN AIRCRAFT FLIGHT WITH THE ELEMENTS OF FUZZY LOGIC USING VARIOUS FUZZY CONCLUSION ALGORITHMS

Ageev A.M., Ph.D. (Tech), Associate Professor
Zamyslov M.A., Ph.D. (Tech), Senior Researcher
Maltsev A.M., Ph.D. (Tech), Associate Professor
Mikhaylenko S.B. Ph.D. (Tech), Senior Researcher
(Military Air Force Training and Research Center "Air Force Academy
named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin")

Математическая модель, канал управления высотой полета летательного аппарата, нечеткая логика, функция принадлежности, фаззификация, нечеткий контроллер, алгоритм нечеткого вывода.

Mathematical model, channel height of the aircraft control, fuzzy logic, membership function, fuzzification, fuzzy controller, algorithm of fuzzy conclusion.

Рассматриваются варианты построения математической модели канала управления высотой полета летательного аппарата с применением нечеткого контроллера, использующего алгоритмы нечеткого вывода типа Мамдани и Сугено. Приводятся результаты сравнения переходных характеристик рассматриваемых и классической моделей канала, полученные с использованием пакетов Simulink и Fuzzy Logic Toolbox программы MATLAB.

In article variants of construction of mathematical model of the channel height of the aircraft control with application fuzzy the controller, using algorithms an fuzzy conclusion of type Mamdani and Sugeno are considered. The results of comparison of transient characteristics of considered and classical channel models, obtained using MATLAB Simulink and Fuzzy Logic Toolbox software packages are resulted.

Введение

В настоящее время методы интеллектуального управления, в частности методы нечеткой логики, достаточно широко применяются при моделировании, разработке и эксплуатации технических устройств и систем управления в различных областях науки и техники, в том числе и в бортовом авиационном оборудовании [1-5]. Ряд примеров построения таких устройств приведен в работах [2-5, 13-15]. В [3], например, были рассмотрены вопросы построения нечеткой модели канала управления высотой полета летательного аппарата (ЛА). При этом было показано, что дальнейшее повышение динамических характеристик таких каналов возможно не только на основе совершенствования алгоритмов обработки информации в них, но и путем совершенствования их элементной базы, например, за счет использования нечетких процессоров. В статье [3] разработан с использованием пакетов расширений программы MATLAB - Simulink, Fuzzy Logic Toolbox и исследован нечеткий контроллер для математической модели канала управления высотой полета ЛА. В этом нечетком контроллере был реализован алгоритм нечеткого логического вывода (далее просто нечеткого вывода) типа Мамдани. Однако применение других алгоритмов нечеткого вы-

вода, например, одного из достаточно часто используемых алгоритмов типа Сугено, не рассматривалось.

Поэтому задача разработки варианта построения математической модели канала управления высотой полета ЛА с применением нечеткого контроллера, использующего алгоритм нечеткого вывода Сугено и сравнения ее с классической моделью канала высоты и нечеткой моделью, использующей алгоритм Мамдани, является весьма важной и актуальной.

Ниже рассматриваются вопросы построения и исследования характеристик математической модели канала управления высотой полета ЛА с элементами нечеткой логики (нечетким контроллером), использующими алгоритм нечеткого вывода типа Сугено и их сравнения с классической моделью и моделью с нечетким контроллером, реализующим алгоритм Мамдани.

Математические модели каналов управления высотой полета летательного аппарата в классическом исполнении и с элементами нечеткой логики

Математические модели разрабатывались так же, как в [3], для изображенной на рис.1 типовой структурной схемы канала управления высотой полета, внутренним контуром которого является автопилот тангажа [6]. На рис.1 обозначено:

$$W_{\vartheta_3}^h(p) = \frac{1}{K_g} \cdot \left(K_H + K_{\dot{H}} \cdot p + \frac{K_{\ddot{H}}}{p} \right),$$

$$W_{\vartheta_3}^{\vartheta_3}(p) = \frac{K_g \cdot K_{\omega_z}^B \cdot \omega_\alpha^2 \cdot (T_\theta \cdot p + 1)}{(p + 0.5 \cdot T_\theta^{-1}) \cdot (p^2 + 2\xi_{жс} \cdot \omega_{жс} p + \omega_{жс}^2)},$$

$$W_h^{\vartheta}(p) = \frac{1}{\tau_\alpha \cdot p \cdot (T_\theta \cdot p + 1)},$$

где $W_{\vartheta_3}^h(p)$, $W^{\vartheta_3}(p)$, $W_h(p)$ – передаточные функции канала управления высотой, связывающие отклонение ΔH высоты полета H от заданного значения H_z с заданным углом тангажа ϑ_3 , заданный угол тангажа ϑ_3 с текущим углом тангажа ϑ и текущий угол тангажа ϑ с высотой полета H соответственно;

T , K – постоянные времени и передаточные числа соответствующих динамических элементов;

$\omega_{жс}$, $\xi_{жс}$ – собственная частота и коэффициент демпфирования контура тангажа с жесткой обратной связью соответственно;

p – оператор дифференцирования.

При этом рассматривались гипотетические значения характеристик конкретных элементов моделей, достаточные для понимания существа вопроса, и аналогичные характеристикам в [3].

С использованием приведенной на рис.1 структурной схемы и выражений для динамических элементов были разработаны имитационные модели канала

управления высотой полета ЛА, внутренним контуром которого является автопилот тангажа с жесткой обратной связью, в среде пакетов прикладных программ MATLAB-Simulink и специального пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox для нечеткого моделирования [1,10]. Модели разработаны для сигналов текущего отклонения высоты полета от заданного значения (ΔH) с использованием получивших широкое распространение методов теории случайных процессов, автоматического управления и нечеткого моделирования [8,9].

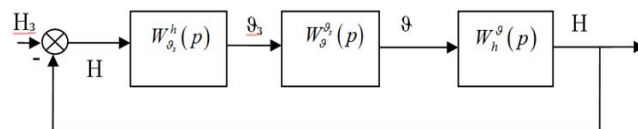


Рис.1. Структурная схема канала управления высотой полета классической системы управления полетом летательного аппарата

Фрагменты интерфейса расширения Simulink программы MATLAB с разработанными в [3] моделями представлены на рис. 2, а на рис. 3 – с моделями канала управления высотой полета – классической и с нечеткими контроллерами, реализующими алгоритмы Сугено и Мамдани соответственно, разработанными в данной статье.

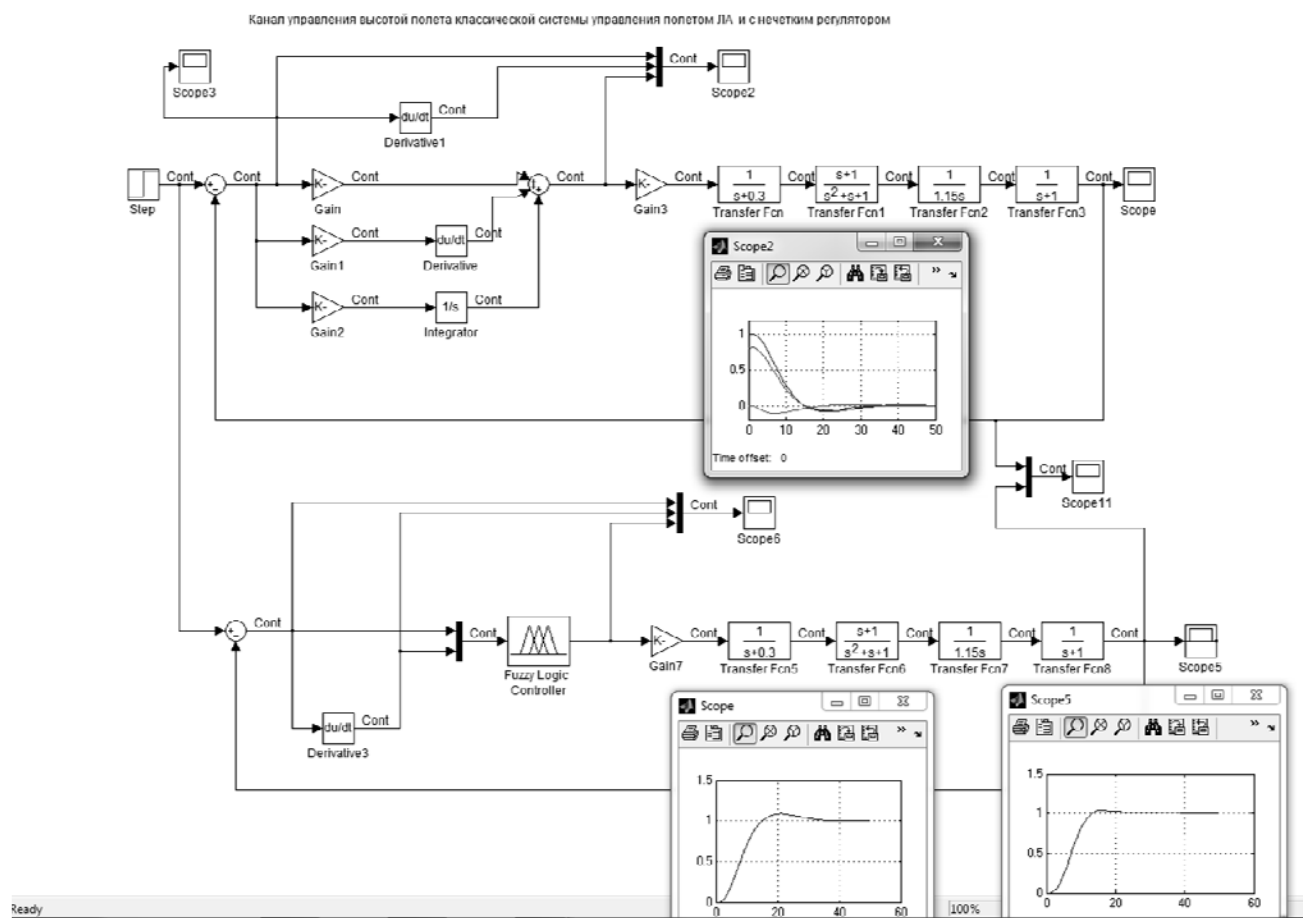


Рис. 2. Фрагмент интерфейса расширения Simulink программы MATLAB с разработанными моделями канала управления высотой полета, классического (вверху) и с НК, реализующим алгоритм Мамдани (внизу)

На рис. 2 в верхней части фрагмента изображена классическая модель канала управления высотой, построенная на аналоговых элементах, а в нижней части – модель с нечетким контроллером, реализующим алгоритм нечеткого вывода типа Мамдани и выполняющим роль пропорционально-интегро-дифференцирующего

(ПИД) регулятора. Здесь же приведены осциллограммы сигналов в соответствующих точках обеих моделей, иллюстрирующие их работоспособность, полученные применительно к каналу высоты, имеющего характеристики, близкие к характеристикам канала управления высотой полета, приведенным в [6].

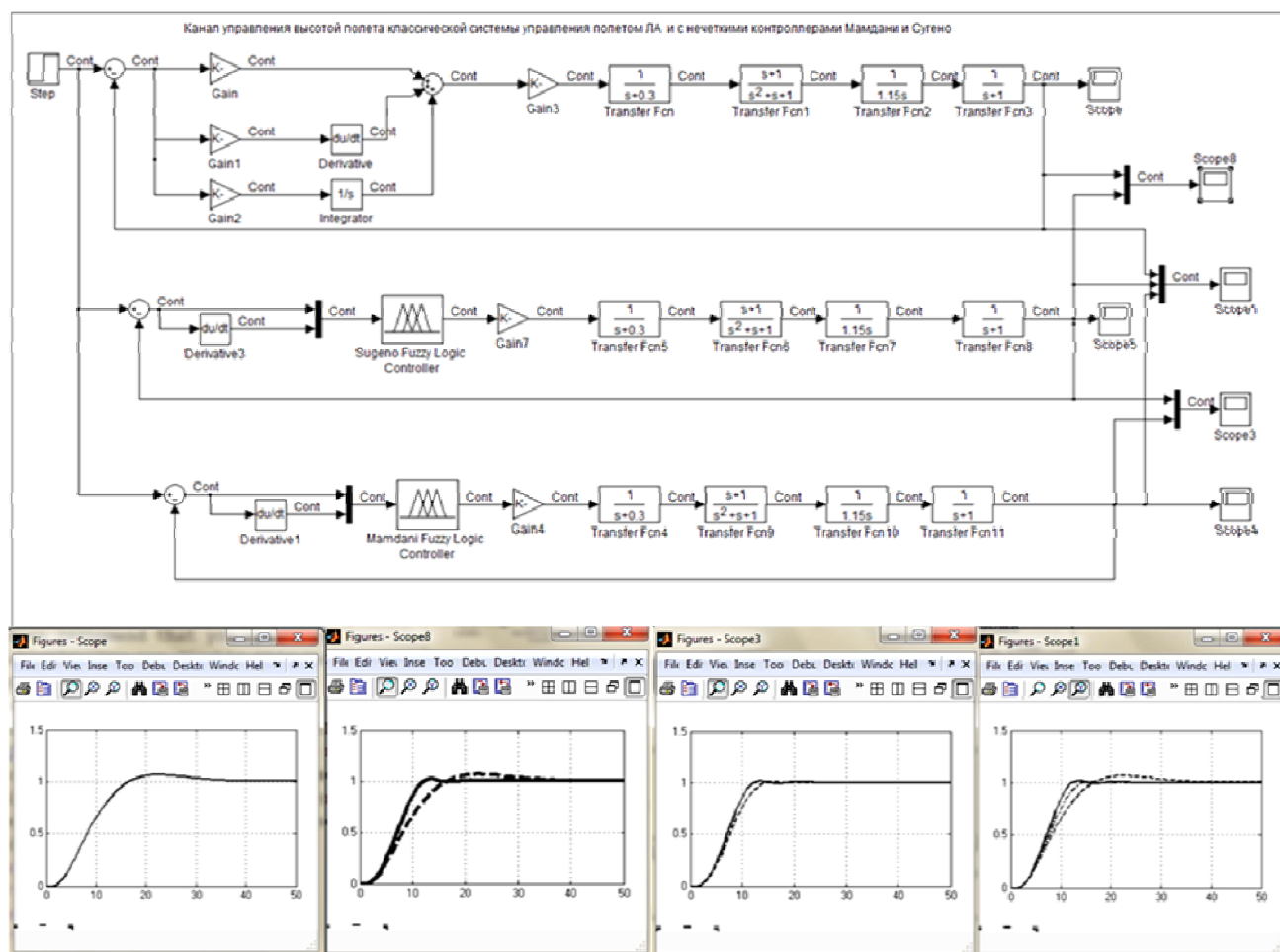


Рис. 3. Фрагмент интерфейса расширения Simulink программы MATLAB с разработанными моделями канала управления высотой полета – классической и с НК, реализующими алгоритмы Сугено и Мамдани

На рис. 3 в верхней части фрагмента изображена классическая модель канала управления высотой, в средней части – модель с НК, реализующим алгоритм нечеткого вывода типа Сугено, а в нижней части – модель с НК, реализующим алгоритм нечеткого вывода типа Мамдани. Здесь же приведены осциллограммы переходных характеристик каналов, иллюстрирующие работоспособность разработанных математических моделей, имеющих характеристики, аналогичные, приведенным в [3]. Указанные модели позволяют исследовать переходные характеристики каналов с различными алгоритмами нечеткого вывода и сравнивать их между собой и с каналом, построенным по классической схеме.

Остановимся теперь более подробно на нечетких контроллерах.

Разработка нечетких контроллеров с алгоритмами нечеткого вывода типа Мамдани и Сугено для канала управления высотой полета ЛА

Основная функция, возлагаемая на нечёткие контроллеры – формирование напряжений, пропорциональных текущему отклонению высоты ЛА от заданно-

го значения. В качестве желаемой траектории (переходной характеристики) процесса была принята желаемая траектория замкнутого канала управления высотой. При этом измеряемыми параметрами являются сигнал ошибки на выходе сумматора и его производная, а выходной координатой – выход ПИД регулятора.

Методика разработки и отладки нечеткого контроллера, реализующего алгоритм нечеткого вывода Мамдани, для канала высоты подробно изложена в работе [3, 15]. Однако, как было отмечено выше, кроме алгоритма Мамдани достаточно широко в НК используются алгоритмы нечеткого логического вывода типа Сугено. Ниже кратко рассматриваются основные особенности этих алгоритмов, которые необходимо учитывать при моделировании функционирования каналов высоты и анализе полученных результатов.

Особенности построения и функционирования алгоритмов нечеткого вывода Мамдани и Сугено

Под нечетким логическим выводом (НЛВ) в соответствии с [1,16] будем понимать алгоритм, позволяющий на основании базы знаний из совокупности нечетких

продукционных правил по заданному вектору входных лингвистических переменных (ЛП) $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ определить значение выходной ЛП z . В основе нечеткого вывода лежит база знаний, формируемая специалистами предметной области в виде нечетких продукционных правил. Вид продукционных правил зависит от применяемого алгоритма НЛВ. Например, в алгоритме Мамдани эти правила имеют вид:

если x_1 есть A_1 и если x_2 есть A_2 и ... и если x_n есть A_n , то z есть C ,

где A и C – нечеткие переменные, определяемые соответствующими функциями принадлежности; $A=A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n$.

Продукционные правила в алгоритме Сугено имеют вид:

если x_1 есть A_1 и если x_2 есть A_2 и ... и если x_n есть A_n , то $z=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$,

где $f(x)=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – обычная четкая функция.

Принципиальное отличие от алгоритма Мамдани в данном случае касается заключения, которое представляется в форме функциональной зависимости.

В общем случае для определения по конкретным значениям входных ЛП (x_0, y_0) значения заключения (выходной ЛП z_0) необходимо выполнить следующие четыре этапа НЛВ:

- фаззификацию (fuzzification), то есть ввести нечеткость путем вычисления численных значений функций принадлежности к отдельным термам $\mu_{A_i}(x_0), \mu_{B_i}(y_0), i=1,2$;

- нечеткую импликацию путем нахождения:
- функции принадлежности предпосылок каждого отдельного правила при конкретных значениях входных лингвистических переменных (сигналов) x_0 и y_0 .

$$\alpha(i) = \mu_{A_i}(x_0) \cap \mu_{B_i}(y_0), i=1,2, \quad (1)$$

- результирующих функций принадлежности каждого правила

$$\mu_i(z) = \alpha_i \cap \mu_{C_i}(z), i=1,2;$$

- нечеткую композицию, то есть найти результирующую функцию принадлежности всей совокупности правил при входных значениях сигналов x_0 и y_0 .

$$\mu_{\Sigma}(z) = \mu_1(z) \cup \mu_2(z); \quad (2)$$

- дефаззификацию (defuzzification) для приведения к четкому путем преобразования выходной функции принадлежности, полученной на третьем этапе, в конкретное четкое число z_0 .

На практике наиболее часто используется центроидный метод дефаззификации, называемый также методом центра тяжести или центроидом площади [1]:

$$z_0 = \frac{\int_{Min}^{Max} z \cdot \mu_{\Sigma}(z) dz}{\int_{Min}^{Max} \mu_{\Sigma}(z) dz},$$

где z_0 – результат дефаззификации; z - переменная, соответствующая выходной ЛП ω ; $\mu_{\Sigma}(z)$ - функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной ЛП ω после этапа аккумуляции; Min и Max –

левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества рассматриваемой выходной переменной ω .

Приведенный выше алгоритм НЛВ называется алгоритмом Мамдани если логические операции пересечения (1) реализуется как $\min$

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A, \mu_B), \quad (3)$$

а объединение (2) как $\max \mu_{A \cup B} = \max(\mu_A, \mu_B)$.

Кроме алгоритма Мамдани широкое распространение на практике также получил алгоритм нечеткого вывода Сугено (Sugeno), известный также как алгоритм Такаки-Сугено-Канга [16-18], отличающийся простотой вычислений.

Реализация алгоритма Сугено состоит из трех шагов.

1. Полностью аналогичное алгоритму Мамдани введение нечеткости (фаззификация).

2. Находятся функции принадлежности предпосылок каждого отдельного правила при конкретных входных сигналах $\alpha_i, i=1,2,\dots,M$, где M – число продукционных правил. При этом в классическом алгоритме Сугено логические операции пересечения реализуются как $\min$ (см. формулу 3).

3. Выполняется дефаззификация, то есть определяется четкое значение выходной переменной в форме метода центра тяжести для одноточечных множеств [16]:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^M \alpha_i \cdot f_i(\bar{x}_0)}{\sum_{i=1}^M \alpha_i}, \text{ где } i\text{-текущий номер правила.}$$

Если в качестве функции $f_i(\bar{x})$ используются полиномы 0-го или 1-го порядка $f_i(\bar{x}) = c$ и

$f_i(\bar{x}) = c + \sum_{j=1}^n p_j \cdot x_j$ соответственно, то алгоритм называется алгоритмом Сугено 0-го и 1-го порядка.

В алгоритме Сугено 0-го порядка (называемом также упрощенным алгоритмом нечеткого вывода) продукционные правила имеют вид:

если x_1 есть A_1 и если x_2 есть A_2 и ... и если x_n есть A_n , то $z=c_i$,

а значение выходной переменной вычисляется по формуле:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^M \alpha_i \cdot c_i}{\sum_{i=1}^M \alpha_i}.$$

С учетом отмеченных выше особенностей алгоритмов Мамдани и Сугено 0-го порядка разработаем математические модели канала управления высотой полета ЛА с нечеткими контроллерами в которых реализованы эти алгоритмы и оценим его влияние на качественные характеристики переходного процесса канала.

Нечеткие контроллеры для канала управления высотой полета ЛА с алгоритмами нечеткого вывода Мамдани и Сугено

Не останавливаясь на процедурах обработки входной (чёткой) информации в контроллере с использованием графических средств пакета Fuzzy Logic Toolbox про-

граммы MATLAB, подробно изложенных в работах [1,11-15], приведем лишь фрагменты интерфейса программы, применявшегося при интерактивной разработке и отладке систем нечеткого вывода Мамдани [3] и Сугено для контроллера.

Фрагмент интерфейса пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox, реализующего разработанную нечеткую модель канала управления высотой с алгоритмом нечеткого вывода типа Мамдани, показан на рис. 4, а с алгоритмом Сугено на рис. 5. Для реализации алгоритмов Мамдани и Сугено в НК с двумя входами и одним выходом (рис.2, рис. 3) использовались редакторы систем нечеткого вывода (FISE), функций принадлежности (MFE), правил вывода (RE) и просмотрщиков правил (RV) и поверхностей вывода (SV), изображенные на рис. 4 и 5, позволяющие разрабатывать и применять системы нечеткого вывода в интерактивном режиме [1,10].

Для лингвистического описания первой входной переменной использовались пять термов, второй – восемь

термов, а выходной ЛП, как видно из рис. 4, – двенадцать термов из которых первый- z-образный, последний- s-образный, а остальные – треугольные.

Фрагмент правил вывода, реализованных в нечетком контроллере канала управления высотой с алгоритмом нечеткого вывода типа Мамдани, приведен на рис. 6, а фрагмент интерфейса пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox на этапе отладки разработанной нечеткой модели канала управления высотой с алгоритмом нечеткого вывода типа Сугено – на рис. 7.

С использованием разработанных выше, в среде расширений Simulink и Fuzzy Logic Toolbox программы MATLAB, математических моделей (см. рис. 3-рис. 5), было проведено исследование и сравнение переходных характеристик каналов управления высотой полета ЛА, построенных по классической схеме и с нечеткими контроллерами, реализующими системы нечеткого вывода типа Мамдани и Сугено.

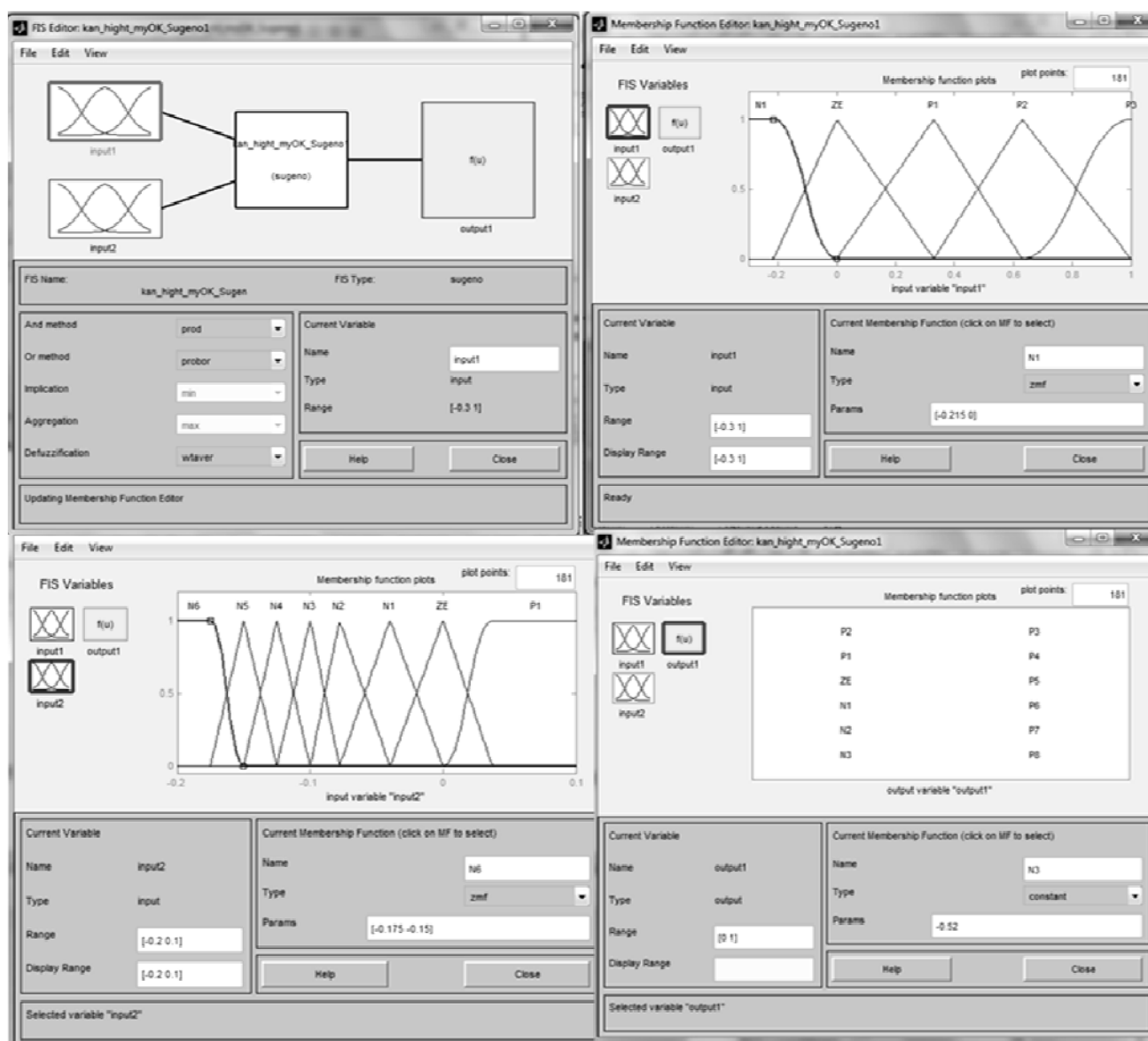


Рис.4. Фрагмент интерфейса пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox в среде MATLAB, реализующего нечеткую модель канала управления высотой с алгоритмом нечеткого вывода типа Мамдани

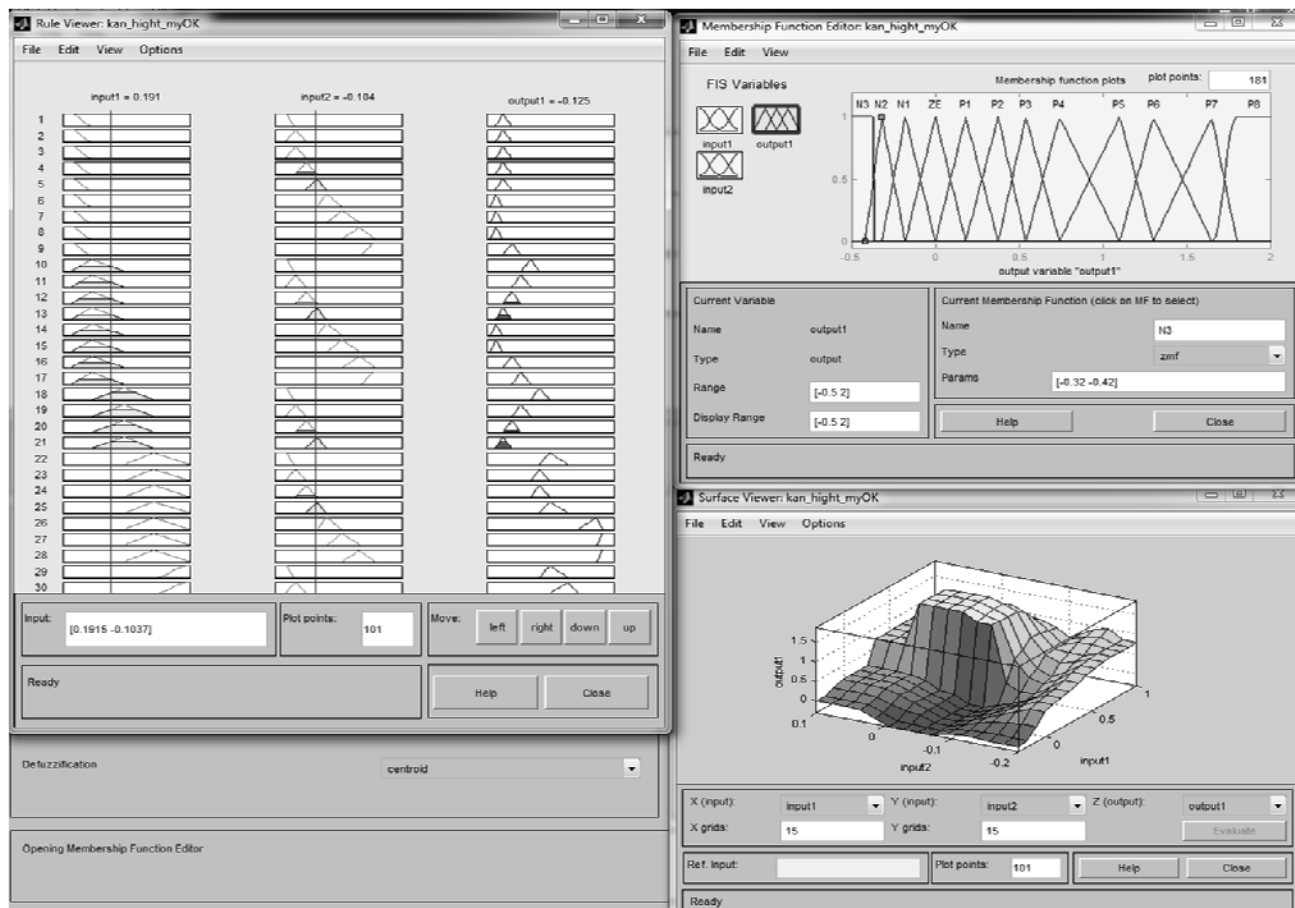


Рис. 5. Фрагмент интерфейса пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox, реализующего разработанную нечеткую модель канала управления высотой с алгоритмом нечеткого вывода типа Сугено

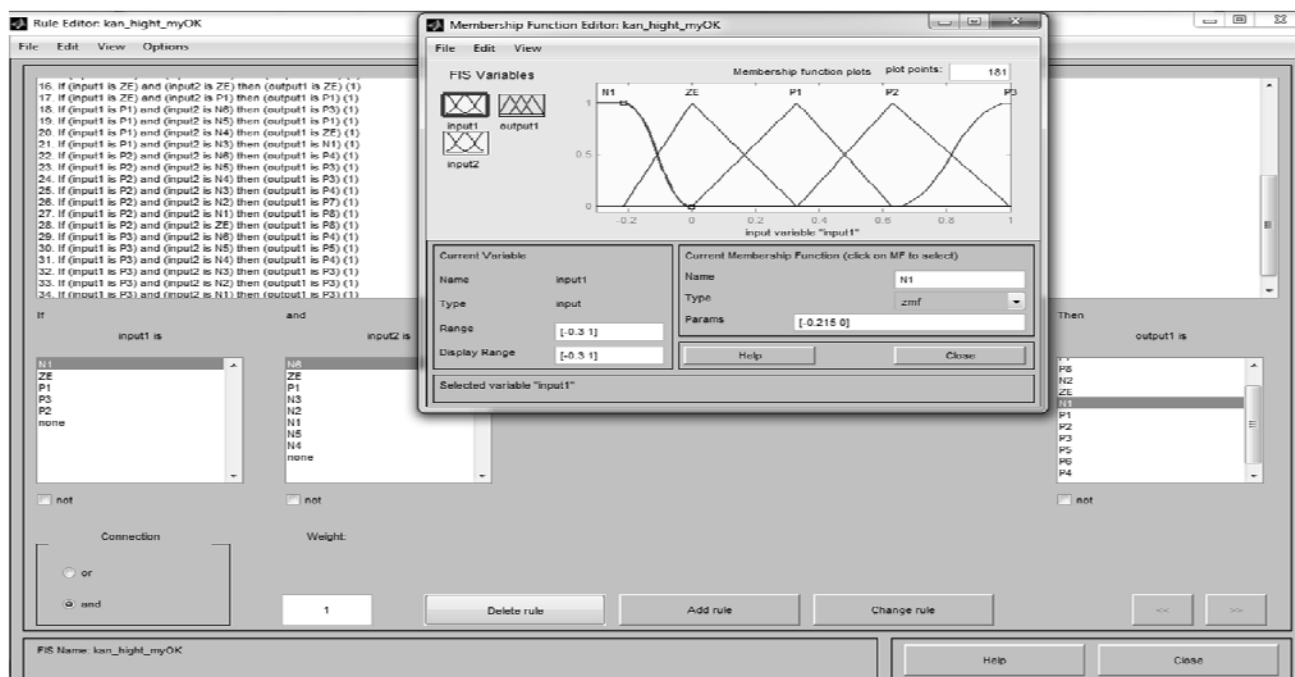


Рис. 6. Фрагмент правил вывода, реализованных в нечетком контроллере канала управления высотой с алгоритмом нечеткого вывода типа Мамдани

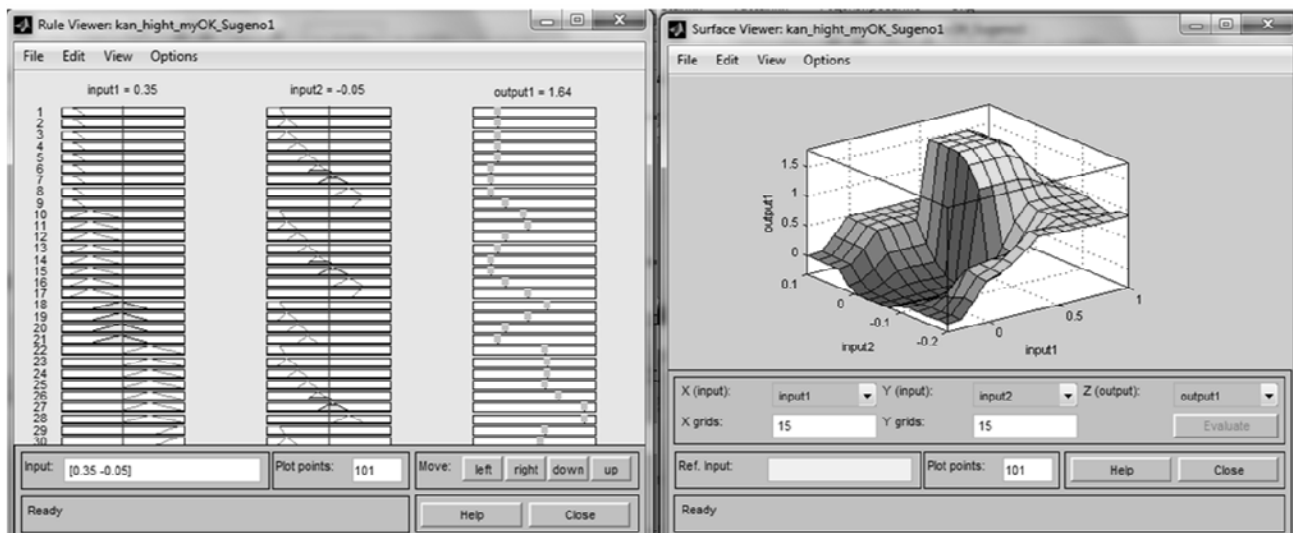


Рис.7. Фрагмент интерфейса специального пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox на этапе отладки разработанной нечеткой модели канала управления высотой с алгоритмом нечеткого вывода типа Сугено

Результаты моделирования

С целью достижения желаемой переходной характеристики (ПХ) канала, устанавливающей зависимость отклонения текущей высоты полета от заданного значения, оба нечетких контроллера были отлажены с использованием Rule Editor и Rule Viewer (см. рис. 6,7). Далее было проведено моделирование канала управления высотой с использованием трех моделей (рис. 3). Результаты моделирования в виде ПХ, полученных на этих моделях канала управления высотой, построенного по классической схеме и с нечеткими контроллерами в которых реализованы алгоритмы Мамдани и Сугено, показаны на рис.8.

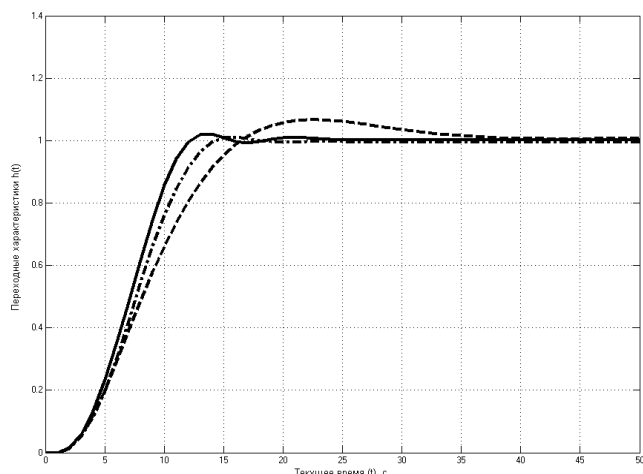


Рис.8. Переходные характеристики классического канала управления высотой полета ЛА (пунктирная линия) и каналов с нечеткими контроллерами, реализующими алгоритм Мамдани (штрих-пунктирная линия) и алгоритм Сугено (сплошная линия)

Анализ кривых на рис. 8 показывает, что ПХ канала управления высотой с нечеткими контроллерами, в которых реализованы разработанные базы правил и алгоритмы Мамдани и Сугено, в отличие от ПХ классического канала, имеют меньшее перерегулирование (в 3-4 раза) и время установления (в 2-3 раза). Кроме того, эти

каналы более эффективны по быстродействию, так как имеют меньшее время достижения ПХ заданного значения. При этом ПХ канала, оснащенного НК с алгоритмом Сугено, имеет несколько лучшие показатели качества по сравнению с ПХ канала, оснащенного НК с алгоритмом Мамдани - меньшие на 1 с время нарастания переходного процесса и на 3 с время достижения первого максимума.

Следует отметить, что близость характеристик каналов, оснащенных НК с алгоритмами Сугено и Мамдани, обусловлена тем, что алгоритм Сугено 0-го порядка можно интерпретировать, как частный случай алгоритма Мамдани, когда функции принадлежности заключенный правил имеют вид:

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, & \text{при } x = c_i, \\ 0, & \text{при } x \neq c_i, \end{cases}$$

а различие между ними объясняется использованием разных методов дефазификации и большей простотой вычислений в алгоритме Сугено[16].

При этом результаты, полученные в части НК с алгоритмом Мамдани, хорошо согласуются с результатами работы [3].

Реализация нечетких контроллеров

Рассматриваемые нечеткие алгоритмы, разработанные с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox программы MATLAB, могут быть непосредственно реализованы в кодах нечетких процессоров (контроллеров), таких как 68HC12 (Motorola), SAE 81C99 (Siemens) или FP1000, FP3000(Omron) [1,19-20], широко используемых в современных системах интеллектуального управления.

Контроллер 68HC12 (Motorola) базируется на ядре Motorola 68HC11 и содержит специальные функции нечеткой логики. Он используется с программным пакетом fuzzyTECH и обеспечивает повышенную (до 15 раз) скорость работы приложений, созданных в этом пакете, и до 6 раз большую компактность кода по сравнению с базовым ядром 68HC11.

Процессор *SAE 81C99 (Siemens)* может реализовать систему нечеткого логического вывода с использованием 256 входных переменных и формировать до 64 выходных значений максимум по 16384 правилам. Он способен выполнять восемь программируемых алгоритмов со скоростью работы - 10 миллионов правил в секунду [20].

Цифровые процессоры FP1000, FP3000 различаются количеством разрядов и контактов в корпусе: FP1000 – 8 разрядов, 44 – вывода, FP3000 – 12 разрядов, 64 вывода. Остальные характеристики процессоров одинаковы и представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Основные характеристики нечетких процессоров семейства FP

Характеристики нечетких процессоров семейства FP	
Наименование характеристики	Значение характеристики
Тактовая частота, МГц	24
Число обрабатываемых правил: в типовом режиме в расширенном режиме	20 128
Тип функций принадлежности	Треугольная, трапецеидальная
Максимальное число идентификаторов	7
Время обработки, мкс	125
Алгоритм обработки (фаззификации)	min/max (метод «центр тяжести»)

На базе процессоров FP1000, FP3000 созданы интеллектуальные fuzzy-модули C200H-F2001 и C500-F2001 к которым внешние устройства подключаются через полудуплексный канал RS-232C со start-стопной синхронизацией.

Для сохранения правил и ФП в оперативной памяти при отключении питания используется резервная батарея со сроком действия 5 лет [20].

Для практической реализации рассмотренных в работе интеллектуальных элементов в системах автоматического управления высотой полета ЛА, функционирующих в соответствии с приведенными выше моделями, на программируемых логических контроллерах, как импортного, так и отечественного производства, программа должна быть написана в нотации языка *FCL (Fuzzy Control Language)*. Эти требования определены в ГОСТ Р МЭК 61131-7-2017, идентичном международному стандарту IEC 61131-7:2000 [21].

Заключение

Для оценки возможностей алгоритма нечеткого вывода Сугено и сравнения результатов, полученных с его использованием, с результатами, полученными на классической модели и на модели, в которой используется алгоритм нечеткого вывода Мамдани был разработан вариант построения нечеткой модели канала управления высотой полета БЛА с использованием алгоритма Сугено.

Результаты моделирования показали, что при неизменных параметрах исследуемого объекта каналы управления высотой с нечеткими контроллерами, реализованными на основе характеристик уже существующих элементов канала высоты, имеют лучшие динамические показатели по сравнению с каналом, по-

строенным по классической схеме (рис.8). При этом в обоих каналах высоты с нечеткими контроллерами время достижения выходной величины заданного значения и перерегулирование меньше, чем у классического канала.

Таким образом, показана возможность построения в интерактивном режиме базы знаний для нечеткого логического контроллера канала управления высотой, реализующего алгоритм Сугено, с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox программы MATLAB и ее реализации на базе современных нечетких процессоров. При этом использование разработанной базы знаний нечеткого контроллера с алгоритмом Сугено позволяет получить более качественный переходный процесс по сравнению с классическим каналом управления высотой и несколько лучшие показатели качества переходного процесса по сравнению с ПХ канала, оснащенного НК с алгоритмом Мамдани.

Литература

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.-736 с: ил.
2. Агеев А.М., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Мальцев М.А., Михайленко С.Б. Система автоматизированного распознавания летных ситуаций, опасных для пилотирования ЛА, на основе нечеткой логики. //ВИНИТИ. Транспорт: наука, техника, управление.- 2017.- № 10. –С. 34-40.
3. Волобуев М.Ф., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Математическая модель канала управления высотой полета летательного аппарата с элементами нечеткой логики и ее сравнение с классической моделью//ВИНИТИ. Транспорт: наука, техника, управление.- 2016.- № 8. С. 10-15.
4. Волобуев М.Ф., Демчук В.А., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Управление резервированной с помощью мажоритарных элементов системой с применением методов нечеткой логики // Информационные технологии.- 2012.- № 12 (196).
5. Соколов И.В., Агеев А.М., Волобуев М.Ф., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Оценка статистических характеристик сигнала на выходе резервированной системы, управляемой нечетким контроллером // Информационные технологии.- 2014.- № 8 (196).-С.17-22.
6. Асланян А.Э. Системы автоматического управления полетом летательных аппаратов. Часть 1 : Учебное пособие. Киев: КВВАИУ, 1984.
7. Воробьев В.Г., Глухов В.В., Кадышев И.К. Авиационные приборы и информационно-измерительные системы и комплексы /Под ред. В.Г. Воробьева.- М.: Транспорт, 1992.-399 с.
8. Максимов М.В., Горгонов Г.И. Радиоэлектронные системы самонаведения. – М.: Радио и связь, 1982.- 304 с.
9. Нетушил А.В. Теория автоматического управления. – М.: Изд-во Высшая школа, 1968. – 480 с.
10. В.П. Дьяконов. MATLAB7*/R2006/R2007: Самоучитель.-М.:ДМ Пресс, 2008.
11. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Trans. SystemsManCybernet. – 1985. – Vol. 15. – No. 116. – P. 116–132.

12. Sugeno M. Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey/(in M. M. Gupta, G. N. Saridis, and B.R. Gaines, editors) Fuzzy Automata and Decision Processes, pp. 89-102, North-Holland, New York, 1977.

13. Вильданов Р.Г., Бикметов А.Г., Самошкин А.И. Моделирование автоматической системы регулирования с fuzzy-регулятором // Современные проблемы науки и образования.–2014.–№ 4; URL: www.science-education.ru/118-13483 (дата обращения: 15.09.2015).

14. Бобко В.Д., Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А.. О нечеткой динамической коррекции параметров ПИД-регулятора. // Автоматика, 1998, № 1, с.50-55.

15. Волобуев М.Ф., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Математическая модель контура стабилизации скорости полета летательного аппарата с адаптивным управлением пропорционально-дифференцирующим регулятором на основе нечеткой логики //ВИНИТИ., Проблемы безопасности полетов.- 2017.- № 12. С. 44-58.

16. Усков А.А., Круглов В.В. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики. – Смоленск: Смоленская городская типография, 2003. – 177 с.

17. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Физматлит, 2001.

18. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2002.

19. Чернов В.Г. Нечеткие контроллеры. Основы теории и построения: Учеб. пособие по курсу «Интеллектуальные системы управления» / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2003. 148 с.

20. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие. – М.: Радиотехника, 2009. -392 с., ил.

21. ГОСТ Р МЭК 61131-7-2017 КОНТРОЛЛЕРЫ ПРОГРАММИРУЕМЫЕ. Часть 7. Программирование нечеткого управления (IEC 61131-7:2000, IDT).

Сведения об авторах:

Агеев Андрей Михайлович.

Место работы: ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), начальник научно-исследовательского отдела- заместитель начальника управления.

Телефон - сотовый 8-980-343-73-41,

e-mail: ageev_bbc@mail.ru.

Замыслов Михаил Александрович.

Место работы: ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), старший научный сотрудник.

Телефон - сотовый – 8-950-762-22-34,

e-mail: mzam48@mail.ru.

Мальцев Александр Михайлович.

Место работы: ВУНЦ ВВС « ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), старший научный сотрудник.

Телефон: сотовый – 8906 589 3616,

e-mail: aleksamalcev@yandex.ru.

Михайленко Сергей Борисович.

Место работы: ВУНЦ ВВС « ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), старший научный сотрудник.

Телефон – сотовый – 8-904-211-24-37,

e-mail: mikhserbor@yandex.ru.

Адрес организации: 394064, г. Воронеж, ул. Старых большевиков, д. 54а.

МОДЕЛИ РАБОТЫ ПЕРЕВАЛОЧНЫХ СКЛАДОВ НА ВОЗДУШНОМ ТРАНСПОРТЕ

Кандидат техн. наук, доцент **Шведов В.Е.**,
старший преподаватель **Утушкина А.Е.**

(Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации)

MODELS OF OPERATION OF TRANSSHIPMENT WAREHOUSES IN AIR TRANSPORT

Shvedov V.E., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
Utushkina A.E., Senior Lecturer
(Saint-Petersburg State University of Civil Aviation)

Переволачнй склад, контейнер, груз, погрузчик, цикл, производительность.

Transshipment warehouse, container, cargo, loader, cycle, productivity.

Рассматривается метод работы переволачного склада аэропорта, принцип расчета грузоместимости переволачного склада, количества перегрузочных машин, интенсивности прибытия и убытия транспортных средств с грузами.

We consider the method of an airport storage terminal operation, the principle of calculating the cargo capacity of a transshipment warehouse, the number of reloading machines, the intensity of arrival and departure of vehicles with cargo.

Переволачнй склад – это логистическая транспортная система, относящаяся к сфере транспортной логистики, которая связана с физическим перемещением любых материальных потоков (грузов, тары, транспортных средств), включающая собственно перевозку, погрузочно-разгрузочные работы, перевалку грузов на терминалах разных видов транспорта и т.д. [2].

Переволачнй склад – это один из основных элементов транспортного предприятия (аэропорта, морского порта, речного порта, грузовой станции, контейнерного терминала) для краткосрочного хранения грузов после их приема с одного вида транспорта перед отправкой всего или части груза на другой вид транспорта (Рис.1).

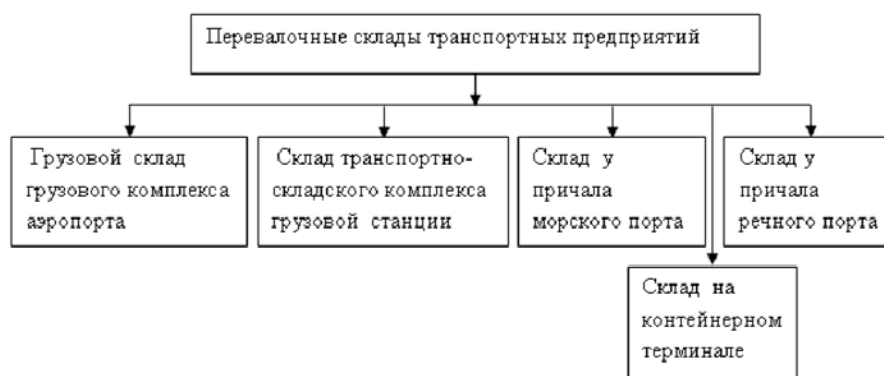


Рис.1. Переволачнй склад на транспортных предприятиях

На переволачнм складе грузы не находятся длительное время в стационарном неподвижном состоянии. Грузы в нем принимаются с транспортных средств (самолетов, автомобилей, вагонов, судов), учитывается их количество, масса и качество, краткое время хранятся не более 2 – 5 суток, комплектуются и выдаются на другой вид транспорта общего пользования (самолеты, автомобили, вагоны или суда) или непосредственно потребителю.

На этом складе грузы постоянно перемещаются, т.е. постоянно находятся в движении. Целесообразно, чтобы на переволачнй склад грузы поступали в пакетированном виде. На складе возможна пакетизация грузов, поступающих россыпью: отдельными упаковками или другими грузовыми единицами.

Переволачнй склад на воздушном транспорте входит, как правило, в состав грузового комплекса аэропорта и размещается на грузовом дворе, который пред-

назначен для приема внешнего транспорта: автомобилей или железнодорожных вагонов, если имеется подъездной железнодорожный путь:

- разгрузка и прием груза из автомобилей и вагонов осуществляется на крытую рампу склада;
- автомобили перед разгрузкой взвешиваются на автомобильных весах, установленных на грузовом дворе;
- разгрузка автомобилей и крытых вагонов на рампу склада осуществляется с помощью перегрузочных машин общего назначения – электропогрузчиков, козловых кранов и др. видов подъемно-транспортного оборудования для выгрузки крупнотоннажных контейнеров и длинномерных материалов из кузова автомобиля или с железнодорожной платформы [3,4].

Груз на переволачнй склад грузового комплекса аэропорта может прибывать автомобилями, самолетами, вагонами, в контейнерах (рис. 2, 3, 4, 5, 6).

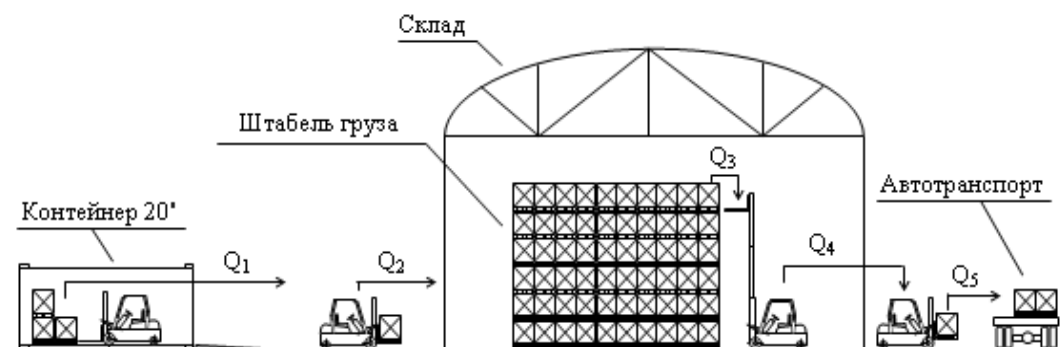


Рис.2. Схема механизации перегрузки груза из контейнера длиной 6 м через перевалочный склад и погрузки на автотранспорт с направлением грузопотока.

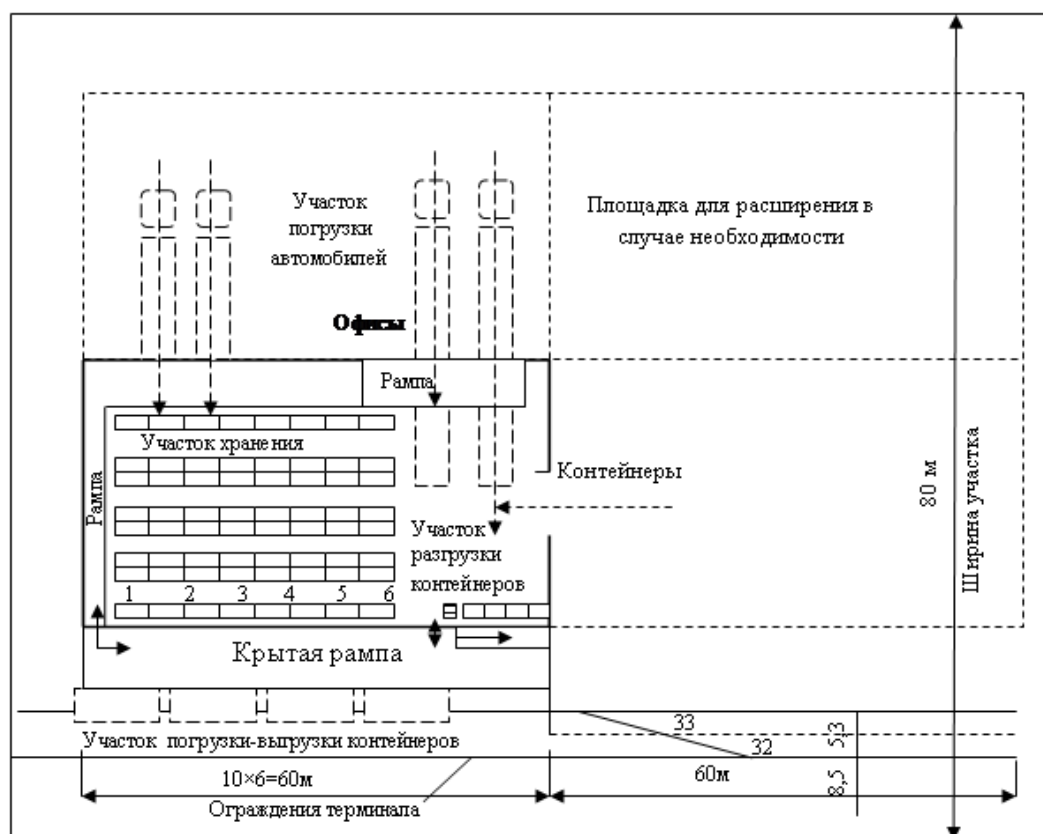


Рис.3. Схема перевалочного склада для железнодорожного и автомобильного транспорта.

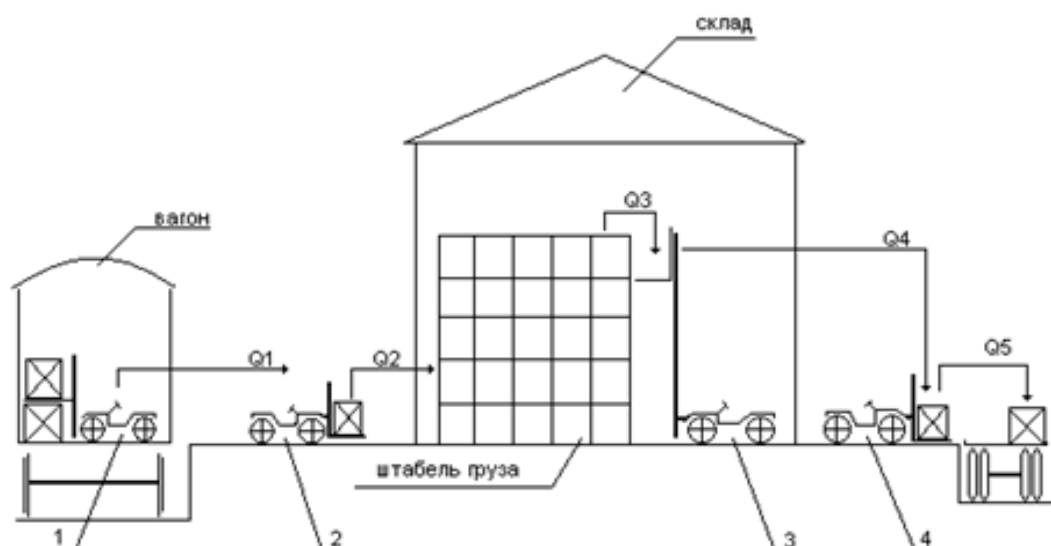


Рис.4. Схема перевалочного склада для железнодорожного и автомобильного транспорта с направлением грузопотока.

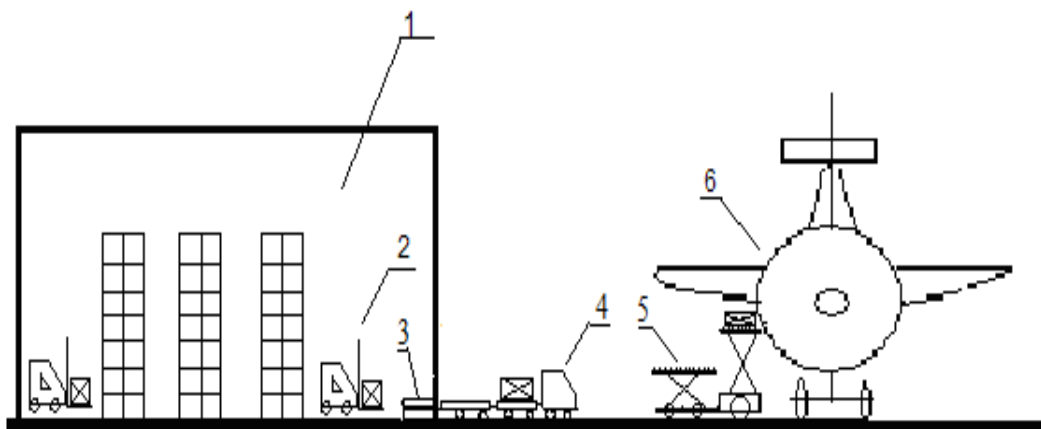


Рис.5. Схема перевалочного склада для воздушного транспорта.

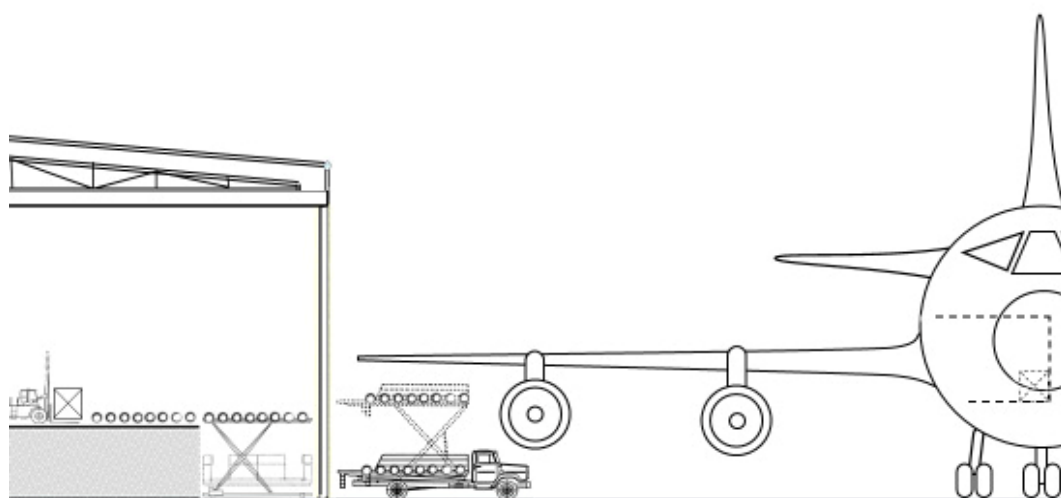


Рис.6. Доставка груза с перевалочного склада на воздушное судно.

На перевалочном складе возможна перевалка груза отдельными пакетами, а также формирование мелких отправок.

Перевалочный склад грузового комплекса аэропорта (ГКА) характеризуется рядом параметров, в число которых входят суточные грузопотоки по прибывающим и отправляемым грузам, а также грузовместимость склада. Отсюда следует, что суточный грузооборот склада ГКА составит сумму грузопотоков.

$$Q_{\text{сут}} = Q_{\text{сут}}^{\text{приб}} + Q_{\text{сут}}^{\text{отпр}} \quad (1)$$

или

$$Q_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{сут}}^{\text{приб}} + \sum_{j=1}^k Q_{\text{сут}}^{\text{отпр}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{сут}}^{\text{приб}}$ – прибывающий поток грузов по n -направлениям за время t ;

$Q_{\text{сут}}^{\text{отпр}}$ – отправляемый поток грузов по k -направлениям за время t .

Возможен вариант работы склада на прием и временное хранение груза при его поступлении различными видами транспорта. В этом случае грузовместимость склада при условии приема груза с различных транспортных средств для временного хранения должна составить:

$$E_{\text{ск}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{сут}}^{\text{приб}} t_{\text{хр}}^n + \sum_{j=1}^k Q_{\text{сут}}^{\text{отпр}} t_{\text{хр}}^o, \quad (3)$$

где $t_{\text{хр}}^n$ – время хранения прибывающих на склад грузов автомобилями или вагонами;

$t_{\text{хр}}^o$ – время хранения прибывающих грузов на склад самолетами.

Интенсивность входящего потока автомобилей или самолетов с грузом на склад ГКА составит:

$$\lambda_{\text{маш}}^n = \frac{Q_{\text{сут}}^{\text{приб}} \kappa_{\text{нер}}^n}{m_{\text{ср}}^n T_c^n} \text{ маш./час}, \quad (4)$$

где $m_{\text{ср}}^n$ – ожидаемая средняя масса партии груза, доставляемая на склад ГКА, кг;

$\kappa_{\text{нер}}^n$ – коэффициент суточной неравномерности поступления груза.

T_c^n – период работы склада по приему груза, час.

Интенсивность потока автомобилей или самолетов с грузом с последующим их убытием со склада ГКА составит:

$$\lambda_{\text{маш}}^{\text{убыв}} = \frac{Q_{\text{сут}}^{\text{убыв}} \kappa_{\text{нер}}^{\text{п}}}{m_{\text{ср}}^{\text{убыв}} T_c^o}. \quad (5)$$

Учитывая количество (интенсивность) прибывающих и убывающих транспортных средств, пропускная способность перевалочного склада составляет:

$$\lambda_{ск} = \lambda_{маш}^{приб} + \lambda_{маш}^{убыв}, \text{ шт./час,} \quad (6)$$

где $\lambda_{маш}^{приб}$ – интенсивность прибытия транспортных средств с прибывающими грузами;

$\lambda_{маш}^{убыв}$ – интенсивность убытия транспортных средств с убывающими грузами.

Математическое ожидание интенсивности потока груза прибывающего на перевалочный склад ГКА автомобилями и самолетами в сутки, размещаемое на временное хранение, составляет:

$$Q(Q, \lambda) = \sum_i^k \frac{Q_{сут}^{приб} \kappa_{нер}^п}{m_{ср}^п T_{с}^п} M(M_i) f_m + \sum_j^r \frac{Q_{сут}^{убыв} \kappa_{нер}^п}{m_{ср}^{убыв} T_{с}^п} M(M_j) f_c, \quad (7)$$

где k – число автомобилей различных типов; r – число самолетов различных типов;

$M(M_i)$ – математическое ожидание средней массы партии груза на одном автомобиле;

$M(M_j)$ – математическое ожидание средней массы партии груза прибывающего на одном самолете;

f_m – частота поступления грузов автомобилями различных грузоотправителей;

f_c – частота поступления груза различными типами самолетов.

В настоящее время ценные и особо ценные грузы с целью их сохранности от повреждения и безопасности перевозятся в крупнотоннажных или малотоннажных контейнерах.

Контейнеры с грузом могут поступать различными видами транспорта: морским транспортом в морской порт, по железной дороге на грузовую станцию или воздушным транспортом в аэропорт на грузовой склад или на открытую контейнерную площадку, в зависимости от типа контейнера. Особое значение имеет перевалочный склад для переработки грузов, поступающих в крупнотоннажных контейнерах длиной 6 м и 12 м. Это связано с тем, что зачастую в крупнотоннажных контейнерах грузы поступают на транспортное предприятие и отправляются из него малотоннажными отправлениями. Доставка груза грузополучателям осуществляется или полными контейнерами или отдельными грузовыми местами [6,7]. При доставке грузов отдельными грузовыми местами контейнеры предварительно разгружаются на перевалочном складе с помощью погрузчиков. Разгрузка контейнеров производится на грузовых фронтах (рис.2).

Учитывая то, что перевалочный склад является транспортной системой, задача исследования процессов в нем должна решаться с учетом их характеристик и свойств с учетом ограничений по времени на все процессы по принятию решений. Особенности транспортных систем обуславливают принципы формального их описания и моделирования их действия [1].

Результатом моделирования работы перевалочного склада будут грузооборот Q , количество перегруженных на него грузов $M_{гр}$, контейнеров N_k , число погрузчиков n_m , обеспечивающих количество перегруженного груза, перегруженных контейнеров и выгруженного из контейнеров груза $M_{грк}$, а также длина разгрузочного фронта $L_{фр}$ ($L_{гр}$, $L_{агр}$).

Если груз на склад прибывает вагонами (рис.3), длина железнодорожного грузового фронта должна быть определена по формуле:

$$L_{гр}^* = \frac{n \ell}{Z_n Z_c} + a \ell, \text{ м,} \quad (8)$$

где $n_{ср}$ – среднесуточное количество вагонов, поступающих на грузовой фронт;

$\ell_{в}$ – длина вагона данного типа, м;

Z_n – число подач, т.е количество вагонов, отправляемых на погрузку или разгрузку груза;

Z_c – число перестановок вагонов на грузовом фронте;

$a_{л}$ – удлинение грузового фронта для маневрирования локомотивами или другими средствами маневрирования (15 – 20 м);

Среднесуточное количество вагонов определяется по формуле:

$$n_{в} = \frac{Q_{сут} \kappa_{нер}}{q_{в}}, \quad (9)$$

где $Q_{сут}$ – среднесуточное поступление груза;

$q_{в}$ – средняя загрузка вагона, т;

$\kappa_{нер}$ – коэффициент неравномерности поступления или отправления грузов;

$\kappa_{нер} = 1,3 - 1,5$.

Длина грузового фронта для установки автотранспорта или для установки внутри аэродромных перегрузочных машин должна быть определена по формуле:

$$L_{гр}^a = \frac{Q_{год} \kappa_{нер} \ell_a t_a}{q_a T_{сут}}, \quad (10)$$

где $L_{гр}^a$ – длина грузового фронта со стороны подхода автотранспорта, м;

ℓ_a – длина фронта для установки одного автомобиля боковым или задним бортом или внутри аэродромной машины, м;

t_a – среднее время погрузки автомобиля, включая время на подъезд к складу и отъезд от склада, мин.;

$T_{сут}$ – число дней выдачи груза в году;

q_a – средняя загрузка автомобиля, другого транспортного средства, т;

$Q_{год}$ – поступление и отправление груза автотранспортом, т.

Потребное количество (перегрузочных) подъемно-транспортных машин (ПТМ)

Необходимое количество для обработки груза ПТМ, шт. следует рассчитывать по формуле:

$$n_{M_i} = \sum_{i=1}^k \frac{Q_{сут}}{T_{м} P_{M_i}}, \quad (11)$$

где $T_{м}$ – время работы машины, ч;

$P_{м}$ – производительность машины, т/ч;

k – вид перегрузочной машины на грузовом фронте или внутри склада.

Производительность машины циклического действия, т/ч

$$P_{м} = 3600 q \phi n_{ц} \kappa_{и}, \quad (12)$$

где q – грузоподъемность машины, т;

ϕ – коэффициент использования машины по грузоподъемности;

$\kappa_{и}$ – коэффициент использования машины во времени; $n_{ц}$ – рабочий цикл машины;

$T_{ц}$ – средняя продолжительность цикла работы машины, с.

Если известна средняя масса перерабатываемого груза, производительность можно определить по формуле:

$$П_{м} = 3600 M n_{ц} \kappa_{и} , \quad (13)$$

где M – масса груза, кг.

Производительность перегруженных и разгруженных контейнеров можно определить по формуле:

$$П_{к} = 3600 N_{к} n_{ц} \kappa_{и} , \quad (14)$$

где $N_{к}$ – количество контейнеров, перегружаемых одновременно.

Учитывая возможности перевалочного склада по величине времени хранения груза, в хранилище склада целесообразно применять из известной гаммы ПТМ – электроштабелеры, а на грузовых фронтах для погрузки-выгрузки грузов – элетропогрузчики (преимущественно) отечественного производства ЭП-103 КО.

Перевалочный склад должен иметь систему автоматического управления технологическим процессом работы склада (АСУ ТП). Эта система должна учитывать количество свободных ячеек в стеллажах склада для приема поступающего груза, а также содержать сведения о количестве переработанного груза за определенный период времени [8,9].

Также важной характеристикой перевалочного склада является его оборачиваемость, т.е. загрузка и выгрузка грузов, которая определяется по формуле

$$\delta = T / T_{хр} , \quad (15)$$

где T – работа склада по приему и отправке груза в течение 365 или 262 дня, в зависимости от принятой работы склада в течение года;

$T_{хр}$ – время хранения прибывающего или отправляемого груза.

Перевалочные склады на воздушном транспорте имеют ряд отличительных особенностей от перевалочных складов на других видах транспорта [5]. Различают склады или отделения в складах:

- отделение склада для приема и отправки груза на внутренние воздушные линии (ВВЛ) и отделение склада для приема и отправки груза на международные воздушные линии (МВЛ);

Каждый склад должен состоять из ряда зон, таких как:

- грузовой фронт для приема груза с сухопутных видов транспорта (рампа склада, предпочтительно крытая);
- экспедиция приема и проверки грузов, поступающих только с сухопутных видов транспорта, включая систему рентгеновского сканирования типа «Рапискан» или «Интранскоп»;
- зона или склад для временного хранения грузов ВВЛ;
- зона или склад для временного хранения грузов МВЛ;
- экспедиция для подготовки к отправке груза ВВЛ;
- экспедиция для подготовки к отправке груза МВЛ;

- грузовой перрон склада для приема и отправки грузов ВВЛ и МВЛ на борт воздушного судна и, наоборот, с борта воздушного судна.

Годовой грузооборот складов ВВЛ и МВЛ представим в следующем виде:

$$Q_{г} = Q_{ВВЛ} + Q_{МВЛ} , \quad (16)$$

где $Q_{ВВЛ}$ – грузооборот складов ВВЛ;

$Q_{МВЛ}$ – грузооборот складов МВЛ.

Грузообороты складов ВВЛ и МВЛ можно представить как части общего грузооборота грузового комплекса аэропорта:

$$Q_{ВВЛ} = \alpha Q_{г} \text{ и } Q_{МВЛ} = \beta Q_{г}$$

или

$$Q_{г} = \alpha Q_{г} + \beta Q_{г} , \quad (17)$$

где α – часть грузооборота, который приходится на внутренние перевозки;

β – часть грузооборота, который приходится на международные перевозки.

При этом $\alpha + \beta = 1$, однако, α и β не равны между собой и имеют разные величины. В то же время различаются и грузопотоки прибывающих и отправляемых грузов на складах ВВЛ и МВЛ. Грузопотоки на складе ГКА можно представить в виде ряда уравнений

$$Q_{ВВЛ}^{пр} = \delta Q_{ВВЛ} = \alpha \delta Q_{г} ,$$

$$Q_{ВВЛ}^{отпр} = \phi Q_{ВВЛ} = \alpha \phi Q_{г} ,$$

$$Q_{ВВЛ} = \alpha (\delta Q_{ВВЛ} + \phi Q_{ВВЛ}) ,$$

$$Q_{МВЛ}^{пр} = \psi Q_{МВЛ} = \beta \psi Q_{г} ,$$

$$Q_{МВЛ}^{отпр} = \gamma Q_{МВЛ} = \beta \gamma Q_{г} ,$$

$$Q_{МВЛ} = \beta (\gamma Q_{МВЛ} + \psi Q_{МВЛ}) ,$$

$$Q_{г} = \alpha (\delta Q_{ВВЛ} + \phi Q_{ВВЛ}) + \beta (\gamma Q_{МВЛ} + \psi Q_{МВЛ}) , \quad (18)$$

где δ – часть годового грузооборота внутренних перевозок сухопутными видами транспорта с последующей передачей грузов на воздушный транспорт;

ϕ – часть годового грузооборота внутренних перевозок воздушным транспортом с последующей передачей грузов на сухопутные виды транспорта;

γ – часть годового грузооборота международных перевозок сухопутными видами транспорта с последующей передачей грузов на воздушный транспорт;

ψ – часть годового грузооборота международных перевозок, грузы которых поступают с воздушного транспорта на сухопутные виды транспорта.

С учетом формул (7 и 18) и соответствующих преобразований, годовой грузооборот перевалочного склада ГКА можно представить в таком виде:

$$Q(Q) = \left[\sum_i^k \frac{Q_{сут}^{приб} \kappa_{нер}^п}{m_{ср}^п T_{с}^п} M(M_i) f_m(\phi + \gamma) + \sum_j^r \frac{Q_{сут}^{убыв} \kappa_{нер}^п}{m_{ср}^{убыв} T_{с}^о} M(M_j) f_c(\delta + \psi) \right] T_{г} , \quad (19)$$

где $T_{г}$ – время работы перевалочного склада в течение года.

В заключение следует отметить важность перевалочного склада на транспорте, в частности, грузового комплекса аэропорта, в транспортной системе логистического движения транспортных средств и грузов.

Литература

1. Крыжановский Г.А. Моделирование транспортных процессов: Учебное пособие/ СПб ГУГА. – С.- Петербург, 2014.
2. Палагин Ю.И. Транспортная логистика и мультимодальные перевозки. Технология, оптимизация, управление: Учебное пособие. /СПб.: Политехника, 2015.
3. Шведов В. Е., Иванова Н. В. Транспортная логистика. Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ: учебник / Шведов В. Е., Иванова Н.В.– СПб. Издательский центр «Интермедия», 2018.
4. Шведов В. Е., Иванова В.И., Шведов В.В. Контейнерные терминалы и пункты на транспорте. Технология, проектирование, расчет, автоматизация управления. Учебное пособие / СПб ГУГА. – С.- Петербург, 2012.
5. Манукян Р.Г., Шведов В.Е., Григоренко В.М., Мочалов А.И. Грузовые воздушные перевозки: Учебное пособие/ СПб ГУ ГА С.- Петербург, 2012.
6. Золотарев Мирослав. Рынок грузовых авиаперевозок. Рост или спад? //Склад и техника.-2016г., № 11.- С. 10-11.

7. Воздушный транспорт: учебное пособие/П.К. Рыбин, Н.В. Ершиков, Н.С. Комовкина. - СПб.: ПГУПС, 2011. - 62 с.

8. Дыбская В.В., Зайцев Е.И., Сергеев В.И., Стерлигова А.Н. Логистика: Учебник. – М.: Эксмо, 2009.

9. W.Delfmann, H.Baum, S.Auerbach, S.Albers:Strtegis Management in the Aviation Industry. – Ashgate Publishing Limited, 2006.-672.

Сведения об авторах:

Шведов Василий Елисеевич, профессор кафедры интермодальных перевозок и логистики Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации (СПбГУГА).

Тел.: (812) 704-1519, (812) 704-1860, (+7) 911-742-3532

E-mail: svedov_v@rambler.ru.

Утушкина Анастасия Евгеньевна, старший преподаватель кафедры интермодальных перевозок и логистики Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации (СПбГУГА).

196210, Санкт-Петербург, ул Пилотов,38

Тел.: (+7) 911-997-6576,

E-mail: anastasia_wow@mail.ru.

СКЛАДСКАЯ ЛОГИСТИКА НА ПУТИ В ЦИФРОВОЕ БУДУЩЕЕ

Кандидат техн. наук **Тиверовский В.И.**

(Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук. ВИНТИ РАН)

WAREHOUSING LOGISTICS ON THE WAY TO DIGITAL FUTURE

Tiverovsky V.I., Ph.D. (Tech.)

(All-Russian Institute for Scientific and Technical Information. VINITI RAS)

Склады, цифровизация, складская логистика, автоматизация, роботы, челночные тележки, искусственный интеллект.

Warehouses, digitalization, warehousing logistics, automatic control, robots, shuttle cars, artificial intellect.

Развитие логистики определяет концепция Logistic 4.0. Цифровое будущее складской логистики это автоматизация, роботизация, цифровые технологии, облачная компьютеризация и др. современные направления. Приведены примеры строительства современных складов и создания новых видов подъемно-транспортного оборудования, отвечающие требованиям 4-й промышленной революции.

Development of logistics is determined by Logistic 4.0 concept. Digital future of warehousing logistics means automatic control, robotisation, digital and cloud technologies as well as the other state-of-the-art trends. Examples are given of constructing modern warehouses and creating new types of hoisting & handling equipment, which meet the requirements of the 4th industrial revolution.

На основе концепции 4-й промышленной революции (Industrie 4.0) создана концепция развития логистики (Logistic 4.0), которая определяет цифровое будущее логистики и новые пути и возможности создания этого будущего. Это облачная компьютеризация (Cloud Technology), большие данные (Big Data), логистические цепи поставок, автоматизация, роботизация, сеть Интернет и др. направления развития. Рассмотрим далее некоторые примеры из зарубежной практики.

1. Общие направления и примеры развития

Развитие логистики требует получающая все большее распространение электронная торговля через сеть Интернет. Современная технология электронной торговли по схеме B2B и B2C с предложениями товаров и услуг должна строиться на цифровой платформе. Работа на основе такой платформы требует создания надежных цепей поставок и цифровизации производства, транспорта и логистики. Функционирующие на предприятиях и фирмах различные автоматизированные системы управления (CRM, PIM, ERP и др.) должны быть на электронном уровне соединены и составить некоторую базу цифровизации. При этом значительно возрастет объем информации, требующей определенной систематизации и структурирования. С учетом этого крайне важен правильный выбор стратегии цифровизации и адекватная технология ее обработки.

Искусственный интеллект (КИ) рассматривается как одно из важнейших направлений развития экономики в будущем во всем мире. Как показал опрос специалистов, работающих в сфере логистики в Германии, более 80% опрошенных отметили КИ как важнейшую часть цифровой логистики будущего, но лишь 26% готовы в настоящее время внедрять это инновационное направление в своей работе. Более половины опрошенных (54%) отметили важность ноу-хау в этой области, 46% - указали на значительные инвестиции, необходимые для внедрения этой технологии, а 44% указали на недостаточный современный уровень IT-инфраструктуры [1].

Созданные в последние годы транспортно-складские системы с челночными тележками (Shuttle-Systeme) в наибольшей степени отвечают концептуальным требованиям 4-й промышленной революции. Эти системы постоянно развиваются и совершенствуются. Например, фирма SSI Schäfer (Германия) построила для предприятия фирмы SiSi распределительный центр с матричной стеллажной системой Schäfer Lift&Run для складирования грузов на поддонах. Все вертикальные перемещения поддонов выполняются лифтовыми подъемниками, а горизонтальные - челночными рельсовыми тележками (Shuttle) с автоматическим грузозахватным устройством Orbiter LHD. Для торговой фирмы Stockmann (Финляндия) фирма SSI Schäfer построила стеллажный склад для складирования мелких штучных грузов с транспортно-складской системой на основе челночных тележек Navette. В предложениях фирмы имеются также склады с транспортно-складской системой SSI Flexi Shuttle с челночными тележками Cubi. В этой системе возможно одно-, двух- и многорядное складирование грузов. Система отличается высокой степенью гибкости транспортно-складских работ [2].

Концепция 4-й промышленной революции открывает новые возможности для автоматизации в логистике, и, в частности, в складской логистике. Как пример реализации такой возможности, фирма AM-Automation GmbH (Норвегия) разработала и предлагает принципиально новый автоматический склад решетчатого типа Autostore для складирования мелких штучных грузов. Склад состоит из пяти основных компонентов: решетки, роботов грузоподъемностью до 35 кг, унифицированных носителей с грузами, рабочего места для складирования и взятия грузов со склада и контроллера. В один ряд робот может складировать 16 больших или 24 небольших носителей, изготовленных из полиэтилена высокой плотности или полипропилена. Склад может взаимодействовать с автоматизированной системой управления (WMS) разных типов. Модульное построение склад позволяет варьировать его вместимостью в широких пределах.

Концепция 4-й промышленной революции (Industrie 4.0) и цифровизация подъемно-транспортного и складского оборудования на основе этой концепции требует создания "умных" приводов, работающих с высокой энергетической эффективностью. Специализированная фирма Getriebbau Nord GmbH & Co. KG (Германия) создала новую систему приводов Nord Drive-System, автоматизация которых построена на основе использования облачной компьютеризации (Cloud). Такая система не только минимизирует энергетические затраты, но и обеспечивает снижение затрат на текущее содержание и ремонт оборудования на основе технологии Predictive Maintenance, предусматривающей контроль реального состояния оборудования и вероятную оценку сроков и трудоемкости технического обслуживания и ремонта [3].

В последнее время транспортные системы с напольными тележками без водителей (FTS) и системы с транспортными роботами совершенствуются на основе современных систем, устройств и IT-технологий. Фирма E&K Automation GmbH (Германия), широко известная как поставщик таких систем, разработала новую технологию оптимизации систем с тележками без водителей и с транспортными роботами на основе двух- и трехмерного моделирования систем (2D, 3D). В основу моделирования положена система Technomatrix Plant Simulation германского концерна Siemens AG и оригинальное программное обеспечение. Фирмой разработано и реализовано более 60 проектов с применением новой технологии на основе моделирования. При проектировании с использованием технологии моделирования не только оптимизируется роботизированная транспортная система, но и достигается оптимальное использование площади и объема здания склада, расстановка и выбор стеллажной системы и др. компонентов склада. Предлагаемая технология может быть использована и для существующих складов. В этом случае фирма использует специальную лазерную измерительную систему, которая с высокой точностью измеряет все размеры здания и установленного в нем оборудования [4].

Постоянный рост числа заказов в связи с расширением электронной торговли, обострение конкуренции и ужесточение требований к качеству логистического сервиса требуют использования в складской логистике самых совершенных технологий. В числе таких технологий - комплектование заказов на складах по командам голосом (Pick-by-Voice). Производительность такой технологии на 20% выше других, а вероятность ошибок при комплектовании заказов не превышает 0,08% против 1,5% при бумажных технологиях. В числе важных преимуществ технологии Pick-by-Voice - возможность прямого встраивания (или через удобный интерфейс) в автоматизированные системы управления складом (WMS) и компьютерные системы планирования и управления материальными ресурсами (ERP) [5].

Как следует из концепции 4-й промышленной революции, будущее складской логистики связано с цифровизацией, автоматизацией и цифровыми технологиями. В этом плане значительный интерес представляет собой стартап-проект (Startups) недавно созданной в Германии фирмы Doks. В реализованном проекте беспилотный автономно летающий аппарат (Drohn) в сочетании с "умной" сенсорикой и оригинальным программным обеспечением выполняет работы по инвентаризации

стеллажного склада штучных грузов без использования глобальной системы позиционирования на основе спутниковой связи (GPS). Продолжительность инвентаризации двух рядов стеллажей длиной по 70 м с одним межстеллажным проездом продолжается 27 мин. Значительный объем получаемой информации примерно (15 Гбайт с одного ряда стеллажей) помещается в память аппарата, т.к. его передача через локальную беспроводную систему WLAN достаточно затруднительна из-за большого объема [6].

Международная выставка Automatica 2018 определила новое направление в роботизации производства и логистики на основе применения небольших гибких роботов серии Scara, например робот типа Scara TS2. Радиус действия таких роботов 400-800 мм, наибольшего - 1000 мм. На выставке был представлен робот-манипулятор с шестью степенями свободы, который может работать с предметами массой 6 кг. Были также представлены транспортные роботы, имеющие широкие возможности использования в складской логистике [7].

В складской логистике и в упаковочном производстве, особенно в промышленности по производству продуктов питания и прохладительных напитков, в последнее время большое внимание уделяется роботизации производства. Как показала работа международной выставки Anuga FoodTec 2018 в Кельне (Германия), в значительной степени используются современные достижения робототехники по созданию коллаборативных роботов (Cobots), которые работают в сотрудничестве с человеком. Создаются и используются системы "человек - робот - союз" (Mensch - Roboter - Kolaboration, MRK). Причем наибольшее применение получают коллаборативные роботы их легких конструкций, грузоподъемность которых составляет до 15 кг. Для безопасной работы систем MRK роботы оснащают современными сенсорами, которые предупреждают возможность коллизий и обеспечивают безопасность персонала, взаимодействующего с роботами. Интенсивная роботизация в логистике и в упаковочном производстве в полной мере отвечает концепции 4-й промышленной революции.

Рассмотрим далее более подробно ряд примеров проектирования и строительства складов, логистических и распределительных центров за рубежом.

2. Склады и логистические центры

В последние годы строительство автоматических складов для мелких штучных грузов все более частот осуществляется на основе применения так называемой челночной технологии, т.е. с применением челночных тележек с автономным управлением (Shuttle). Складирование грузов на таких складах может осуществляться в картонных коробках, на плоских поддонах типа Трау или др. типах носителей. Производительность и вместимость стеллажных систем с челночными тележками практически не ограничена. Важным шагом в направлении развития челночной технологии является создание фирмой Knapp AG (Германия) челночной тележки OSR Shuttle "Evo", отличающейся высокой мобильностью и эффективностью. В числе несомненных преимуществ - возможность прямого складирования требуемого груза непосредственно на стеллажи [8].

Как уже отмечалось, транспортно-складские системы с челночными тележками (Shuttle) получают все боль-

шее распространение в складской логистике. Этому способствует не только возможность достижения высокой производительности, но и гибкость и масштабируемость таких систем. В самое последнее время появились системы тележками 3D-Shuttle, которые упростили решения по вертикальным перемещениям грузов на складе. Скорость движения челночных тележек в последних проектах достигает 4 м/с. Эффективности систем способствует создание фирмой Conductix Wampfler (Германия) новых систем энергообеспечения и зарядки источников питания, в частности система Multiline 0835.

Еще один интересный пример строительства - автоматизированный распределительный центр компании Toshiba, вблизи Сиднея (Австралия), построенный фирмой Dematic (Германия). Здесь реализована интересная автоматическая транспортно-складская система на основе использования челночных тележек (Shuttle), доставляющих грузы со стеллажей непосредственно на рабочую станцию комплектования заказов по принципу "груз - к человеку". В распределительном центре площадью 10200 кв. м на 18 уровнях стеллажей складывается 10600 носителей, в каждом из которых с использование передвижных перегородок может укладываться 1, 2, 4 или 8 товарных единиц (SKU). Всего вместимость склада составляет 80 тыс. единиц. Челночные тележки в автоматическом режиме выполняют все транспортные операции между стеллажами склада и рабочими станциями комплектования заказов. АСУ склада в реальном времени работает на основе оригинального программного обеспечения фирмы Dematic.

Для фирмы Förscher & Krause (Германия), поставщика устройств для прокладки и соединения кабелей, построен автоматический склад для складирования мелких штучных грузов (AKL). Транспортно-складская система склада построена на основе применения микро-челночных тележек (Microshuttle) и вертикальных лифтовых подъемников. Склад в здании размерами 50x14 м с 28 уровнями складирования имеет общую вместимость 25480 мест. Микро-челночные тележки массой 40 кг питаются от бортового аккумулятора постоянным током напряжение 24 В. Для складирования используют унифицированные носители размерами 600x400x320 мм с усиленным двойным дном. Производительность склада - 477 двоек операций/ч. Идентификация - на основе штрихового кодирования. Обмен данными - через локальную беспроводную сеть WLAN. АСУ склада взаимодействует с компьютерной системой (ERP) для планирования и управления материальными ресурсами ABAS [9].

Для фирмы Gebr. Blum GmbH фирмой Kasto Maschinenbau GmbH & Co. KG (обе фирмы - Германия) построен автоматизированный склад типа Uniline для складирования листового металлопроката на системных поддонах. Максимальный размер металлических листов - 3000x1500 мм. Вместимость склада при высоте 8 м составляет 686 поддонов. Металлические листы (стальные, алюминиевые и из нержавеющей стали) укладывает на системные поддоны вилочный погрузчик. Установленный автоматический кран-штабелер выполняет все операции складирования. Склад и отделение резки и отделки стальных листов соединяет транспортная система. Автоматизированная система управления складом KASTOlogic взаимодействует с автоматизированной системой планирования и управления матери-

альными ресурсами ABAS и с программными устройствами управления агрегатов резки и отделки металлопроката.

Предприятие Eska Schneider Lagersysteme GmbH (Германия) предлагает для складирования мелких предметов, например, деталей, крепежных изделий и др., склады башенного типа George. Для складирования целесообразно использовать унифицированные европейские носители. Склад George занимает площадь всего 2 кв. м, высота склад 2-4 м вместимость - от 95 до 311 унифицированных европейских носителей. Складирование и взятие предметов со склада выполняется автоматически по командам через сенсорный дисплей. Все операции автоматически документируются.

3. Подъемно-транспортное и складское оборудование

Прогресс и развитие складской логистики основано на применении новейшего подъемно-транспортного и складского оборудования. Рассмотрим ряд примеров последнего времени.

Для безопасной транспортировки тяжеловесных грузов разной формы при производстве погрузочно-разгрузочных работ фирма DEW-Waagen & Systeme (Германия) создала автоматическую систему взвешивания типа 3D 5000 с автоматическим определением центра тяжести груза. Система работает в пределах массы груза от 200 кг до 50 т. Система была представлена на специализированной выставке FachPack 2018. Предлагаемая система уже успешно работает с 2017 г. в отделении логистики германской фирмы Schneider Electric при погрузке распределительных устройств [10].

На промышленном предприятии фирмы Montratec GmbH (Германия), поставщика комплектующих деталей для автомобилестроительных фирм, реализована транспортная система на основе применения рельсовых челночных тележек Montrac-Shuttle-Carrier серии MSH4 CR. Однорельсовые челночные тележки четырех модификаций с автономным управлением фактически выполняют функции транспортных роботов. Масса тележки с грузом в 20 кг не превышает 50 кг. Транспортная система исключительно компактна, т.к. радиусы в плане м.б. до 220 мм. Все тележки оборудованы сенсорами 5-го поколения. Обмен данными через коммуникационный модуль TC1-iRM с помощью инфракрасных лучей.

Фирма Bauer (Германия), широко известная как поставщик навесных рабочих органов для вилочных погрузчиков, создала подъемную рабочую платформу типа MB-11, которая поднимается вилочным погрузчиком на требуемую высоту для выполнения работ по содержанию и ремонту кранов и др. видов оборудования. Платформа имеет защитные сетки со всех сторон, которые активизируются в зависимости от того, какой стороной (широкой или узкой) захватывается платформа. Подъемная платформа сертифицирована TÜV и соответствует требованиям правил безопасности DGUV, действующим в Германии.

Фирма Butt GmbH (Германия) предлагает для погрузочно-разгрузочных работ с автотранспортными средствами и контейнерами мобильные ramпы типа BKV1013 грузоподъемностью 12 т. С помощью механической лебедки можно установить требуемую высоту ramпы. Безопасность производства работ обеспечивают инвентарные тормозные клинья и цепи с запирающим устройством. Предусмотрена возможность прямой пе-

регрузки из одного транспортного средства в другое, или, например, из контейнера в автомобиль.

В автоматизированных распределительных центрах и на складах выполняется значительный объем операций с поддонами, тарно-упаковочными грузами и различными носителями. Фирма AMI Förder- und Lagertechnik GmbH (Германия) представила на международной выставке FachPack 2018 ряд специальных транспортных модулей для автоматизации работы с носителями разного типа. В числе экспонатов - автоматическая станция контроля исправности и качества поддонов, сортировочное устройство кругового типа для сортировки грузов в картонных коробках и др. таре производительностью 6 тыс. шт./ч, устройство для депакетирования грузов на поддонах и др. оборудование в модульном исполнении.

Специализированная фирма Schmalz GmbH (Германия) продолжает развитие серии рукавных вакуумных подъемников для манипулирования штучными грузами на складах и в логистических центрах. Например, подъемник типа Jumbo-Flex High-Stack позволяет штабелировать грузы в штабели высотой до 2,55 м, подъемник типа Jumbo-Ergo позволяет легко манипулировать грузами массой до 300 кг. Все рукавные подъемники комплектуются разнообразными захватами. Использование рукавных вакуумных подъемников особенно эффективно в сочетании с легкими кранами из алюминиевых конструкций [11].

Современным требованиям цифровизации отвечает радиочастотная технология идентификации (RFID). Поэтому представляет интерес предложение фирмы Utz GmbH (Германия), которая создала новую серию унифицированной транспортной тары Escopin, состоящую из четырех типов носителей: три типа размерами в плане 200x150, 300x200 и 400x300 мм, все высотой 147 мм, и размерами 400x300 мм высотой 215,5 мм. Главная особенность предлагаемых носителей состоит в том, что они предназначены для использования в сочетании с современной радиочастотной технологией идентификации RFID. Предусмотрена возможность штабелирования в 7 рядов по высоте, при укладке в нижний ряд более мелких носителей, а затем более крупных - в 4 ряда по высоте. Применение унифицированной тары и технологии RFID обеспечивает условия для эффективности логистических цепей поставок.

На международной выставке FachPack 2018 в Нюрнберге (Германия) фирма J. Schmalz GmbH для применения в автоматизированных и роботизированных системах логистики предложила плоские грузозахватные устройства типа FXCB. Такие устройства очень удобны для оборудования коллаборативных роботов (Cobot), особенно при сортировке грузов и выполнении роботом других работ по технологии Pick-by-Place (Бери по площади). Эта же фирма экспонировала грузозахватную систему SPZ-M, которая может с успехом применяться в устройствах пакетирования и депакетирования грузов на поддонах. В составе инновационной вакуумной техники фирма представила вакуумное устройство типа Jumboflex High-Stack с удлиненным бугелем, что позволяет, что позволяет работать со штабелями упакованных грузов высотой 2,55 м, выполняя операции штабелирования и дештабелирования.

Фирма AM Förder- und Lagertechnik GmbH (Германия) предлагает широкий выбор модулей, устройств и subsystemов для создания логистических и транспортных

систем на складах и в логистических центрах с высокой степенью автоматизации. В частности, фирма предлагает сортировочные системы для тарно-упаковочных грузов производительностью до 6 тыс. картонных коробок или др. носителей в час, автоматические устройства для депакетирования производительностью до 2,5 тыс. упаковок/ч, транспортные модули для создания автоматических транспортных систем и др. [12].

При выполнении роботами операций пакетирования грузов приходится использовать два типа захватов, один - для захвата грузов, второй - для захвата прокладок. Такая технология снижает производительность робота. Фирма goTeg (Германия) создала вакуумную захватную систему многофункционального типа, которая не требует смены захвата при работе с предметами разной формы и массы. Новая захватная система была представлена на выставке FachPack 2018 в Нюрнберге (Германия) [13].

Автоматизация кранов, особенно работающих с грузами на поддонах, длинномерными грузами, рулонами и др., требует применения специальных грузозахватных устройств. В производстве таких устройств специализируется фирма H+N Herrmann + Nieber GmbH (Германия). Для манипулирования рулонами, лежащими на образующей, фирма предлагает захваты цангового типа или захваты с дорнами, для манипулирования вертикально расположенными рулонами - захваты со специальными грейферами и дорнами («дорно-грейферные захваты»). Внешний диаметр рулонов должны быть не более 1500 мм, масса - до 3,5 т.

Фирма ACI Laser (Германия) создала роботизированную лазерную систему для маркировки обрабатываемых деталей или др. предметов. Основу системы составляет промышленный шарнирно-рычажный робот с шестью степенями свободы. Такой робот в рабочей зоне может взять любой предмет из носителя, выполнить с ним необходимые операции и положить предмет (деталь) обратно. Роботы оборудуются различными захватными устройствами и могут быть разной грузоподъемности.

В заключение необходимо отметить, что в рамках журнальной статьи нельзя представить все разнообразие новых технических решений при проектировании и строительстве объектов логистики, создания новых технологий, систем и нового оборудования. Но, безусловно, можно сделать вывод об интенсивном развитии складской логистики за рубежом на основе современных концепций развития экономики в целом и логистики в частности. Изучение зарубежного опыта крайне важно при определении путей развития логистики и экономики в целом, которые стоят перед нашей страной.

Литература

1. Logistik braucht KI //Ind-Anz.-2018.-140, № 22.-C. 13
2. Dynamik im Lager // Hebezeuge und Förderm.-2018.-58, № 9.-C. 22-23
3. “Zeigen, was Industrie 4.0 heisst //Hebezeuge und Förderm.-2018.-58, № 9.-C. 6-7
4. Simulationen für die Transportrobotik //DHF Intralogistik. [Электронный ресурс].-2018, № 7-8.-C. 48-49
5. Mehr Effizienz in der Logistik //Tim Just //Hebezeuge und Förderm.-2018.-58, № 9.-C. 16-17
6. Automatische Inventur im Vorbeiflug // F+H: Fördern und Heben.-2018.-68, № 9.-C. 10-11

7. Kolaborierende Arme //Verpack.-Rdsch.-2018.-69, № 3.-С. 16-18
8. Schnell, flexible und skalierbar // Hebezeuge und Förderm.-2018.-58, № 9.-С. 27
9. Tempo auf kompaktem Bauraum // Hebezeuge und Förderm.-2018.-58, № 9.-С. 52
10. Schwerpunktwaage macht Fracht transportsicher //F+H: Fördern und Heben.-2018.-68, № 9.-С. 21
11. Verpackte Güter ergonomisch hanhaben //F+H: Fördern und Heben.-2018.-68, № 9.-С. 23
12. Systeme für mehr Produktivität //Hebezeuge und Förderm.-2018.-58, № 9.-С. 59
13. Vielseitige Greifer //Verpack.-Rdsch.-2018.-69, № 9.-С. 62

Сведения об авторе:

Тиверовский Владимир Иезильтвич, старший научный сотрудник в отделе научной информации по транспорту ВИНТИ РАН.

Адрес: 125190 Москва, ул. Усиевича, 20.

Телефон 499-152-56-33,

e-mail: logistic@viniti.ru.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОГО ПЕРЕКРЕСТКА
УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ
УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ**

Кандидат техн. наук **Селиверстов С.А.**

(Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук),
магистрант **Яковенко О.Л.**

(Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики)

кандидат техн. наук **Селиверстов Я.А.**

(Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук),
кандидат техн. наук, доцент **Никитин К.В.**

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого),
кандидат эконом. наук, доцент **Черемисина А.А.**

(Российский государственный гидрометеорологический университет),
кандидат эконом. наук, доцент **Выдрина Е.О.**

(Российский государственный гидрометеорологический университет)

**SIMULATION MODELLING OF A LOADED CROSSROADS USING SOFTWARE PACKAGES
FOR CONTROL OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS**

Seliverstov S.A., Ph.D.(Tech.)

(Solomko Institute of Transport Problems of RAS),

Iakovenko O.L., Graduate student

(ITMO University),

Seliverstov Ya.A., Ph.D.(Tech.)

(Solomko Institute of Transport Problems of RAS),

Nikitin K.V., Ph.D.(Tech.), Associate Professor

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University),

Cheremisina A.A., Ph.D.(Econ.), Associate Professor

(Russian State Hydrometeorological University),

Vydrina E.O., Ph.D. (Econ.), Associate Professor

(Russian State Hydrometeorological University)

Микроскопическое транспортное моделирование, перекресток, транспортные потоки, транспортная система мегаполиса, интеллектуализация, методы организации.

Microscopic traffic simulation, crossroad, transport metropolitan system, intelligent transport system, methods of organization.

Статья посвящена решению задачи повышения качества управления процессом организации дорожного движения на транспортной сети г. Санкт-Петербурга, с использованием программного комплекса микромоделирования PTV VISSIM. Обоснована актуальность применения методов компьютерного микромоделирования для анализа транспортных ситуаций на улично-дорожной сети. Приведен обзор развития программного комплекса микромоделирования PTV VISSIM. Разработана имитационная модель исследуемого перекрестка, на основе которой произведена оценка его эффективности.

The article is devoted to solving the problem of improving the quality of management of the traffic management process on the transport network of St. Petersburg using the PTV VISON VISSIM micro simulation software. The relevance of the use of computer micromodelling methods for analyzing traffic situations on the road network is justified. An overview of the development of the PTV VISSIM micromodelling software complex is presented. The creation of an imitation model of the intersection under investigation was made and an estimate of the efficiency of this intersection was made using its simulation model.

Введение

Рост транспортной мобильности городского населения в мегаполисе [1-3] при недостаточно эффективной организации и управления различными элементами его транспортной системы, такими как транспортные сети, системы регулирования транспортных потоков и расписание движения маршрутного транспорта, становятся

причиной транспортных проблем. Перечень последних включает в себя рост конфликтов в движении, снижение пропускной способности улично-дорожной сети, образование транспортных заторов, снижение качества индивидуальной перевозки, нарушение интервалов движения маршрутного транспорта, ухудшение экологических показателей качества городской среды и эффективности процессов движения транспорта [4-7].

Большинство из вышеперечисленных проблем возникают вследствие неэффективной организации мест пересечения транспортных потоков – перекрестков и мероприятий по организации дорожного движения, таких как определение количества полос для движения транспортных потоков, организация маршрутов общественного транспорта, контроль направления движения транспортных потоков по полосам, регулирование светосигнальных установок, организация остановок общественного транспорта, организация пешеходных переходов и другие [8-10].

Единственным, на сегодняшний момент, инструментом решения таких проблем является микроскопическое многоцелевое моделирование транспортных потоков на основе анализа и оптимизации их поведения [11], [12], а также интеллектуальных стратегиях управления движе-

нием [13], [14] с использованием программных комплексов. Одним из таких программных комплексов является PTV VISSIM. Согласно [15], [16] PTV VISSIM продемонстрировал высокую эффективность в решении задач имитационного моделирования транспортных и пешеходных потоков на различных участках улично-дорожной сети, моделирования транспортных ситуаций и оценки схем организации дорожного движения.

Постановка задачи

Данная статья посвящена решению актуальной и насущной задачи повышению качества управления движением на наиболее сложном и загруженном участке улично-дорожной сети Санкт-Петербурга, а именно пересечение Гражданского проспекта и проспекта Науки.



Рис. 1. Исследуемый участок улично-дорожной сети - пересечение Гражданского проспекта и проспекта Науки

Цель работы заключается в создании имитационной модели перекрестка в программном комплексе PTV VISSIM и выработке решений по улучшению организации дорожного движения.

Анализ предметной области

Программный комплекс PTV VISSIM имеет длительную и глубокую историю развития, основные этапы которой были проанализированы в [15]. Совершенствование встроенного в PTV VISSIM математического инструментария отображены в [17], интерфейса в [18]. Сравнение PTV VISSIM с другими программными комплексами транспортного микромоделирования представлены в [19]. В [20] указывается, что PTV VISSIM является самым передовым и широко используемым комплексом микроскопического моделирования движения. В работе [21] представлен анализ чувствительности выходных данных имитационной модели PTV VISSIM при различных значениях параметров поведения водителя. Анализ проводится для моделирования развязки US-75 и SH-190 (магистраль Джорджа Буша) к северу от Далласа (Техас, США). Установлена связь между поведением водителя и особенностями его вождения на процесс моделирования. Данный резуль-

тат призван помочь специалистам разрабатывать и калибровать имитационные модели в PTV VISSIM в зависимости от параметров поведения водителя. В [22] с использованием PTV VISSIM выполнено построение и калибровка детальной модели 15-мильного участка автострады I-210 West в Пасадене, (штат Калифорния, США). В [23] с использованием PTV VISSIM проанализирована пешеходная дорожка для изучения влияния различных пешеходных потоков на скорость и плотность пешеходов. В [15] изложены принципы моделирования PTV VISSIM, обсуждаются модели разрешения конфликтов в районах с перекрывающимися траекториями движения, динамические модели и модели социальной силы, применяемые к пешеходам. Обсуждаются методы калибровки основных моделей потоков транспортных средств. В [24] разрабатывается в PTV VISSIM модель дорожной сети района CBD в Пекине. Сравниваются четыре разных плана организации трафика, используя, в качестве оценочных показателей, такие данные как: время в пути, скорость движения, длина очереди и задержка.

В [25] демонстрируется применимость программного обеспечения для определения пропускной способности сложных магистралей в условиях смешанного движе-

ния. В [26], [27] с использованием программного комплекса PTV VISSIM решена практическая задача развития новых видов транспорта на примере ввода «Приморской линии» внутреннего водного пассажирского транспорта г. Санкт-Петербурга. Разработана информационно-логическая модель, выполнено моделирование и оценка процессов перераспределения транспортных потоков на участке городской транспортной сети, даны рекомендации по транспортному обслуживанию, прилегающих к «Приморской линии» районов. В [16] представлено исследование оптимизации пересечения вблизи транспортного узла Songjiang University Town Station с применением программного комплекса PTV VISSIM. Результаты моделирования выявили причину снижения пропускной способности. Оптимизация пересечения была выполнена в четырех аспектах, включая регулировку времени зеленой и красной фазой светофорного цикла, устранением конфликтных зон между прямыми и левыми полосами движения.

В [27] исследуется влияние смешанного движения на пропускную способность четырехполосных и шестиполосных автомагистралей в Индии. Все транспортные средства на шоссе разделены на пять категорий: стандартный автомобиль, большой автомобиль, тяжелый транспорт, моторизованные трехколесные транспортные средства и моторизованные двухколесные транспортные средства. Произведена оценка влияния каждого типа транспортного средства на пропускную способность шоссе.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о высокой актуальности темы исследования. Указывает на насущную необходимость использования современных программных комплексов компьютерного микромоделирования при решении задач транспортного планирования, оценки транспортных ситуаций на участках УДС и анализа пропускной способности, транспортных сетей.

Сбор исходных данных для создания имитационной модели

Согласно [28] список необходимых исходных данных для создания модели в программном комплексе PTV VISSIM включает:

- растровое изображение моделируемого перекрестка в векторном (DWG, DXF, EMF, WMF, SHP) или пиксельном форматах (BMP, JPG, PNG, TGA, TIF, SID);
- схемы и технические характеристики моделируемого перекрестка (размер полос движения, направление движения по каждой полосе в пределах перекрестка);
- технические и геометрические характеристики всех типов транспортных средств, передвигающихся через моделируемый перекресток;
- часовая входящая интенсивность движения и распределение транспортных средств в узлах;
- состав транспортного потока;
- расположение светофоров на перекрестке, количество секций каждого светофора, цикл переключения сигналов и время на каждом такте;
- данные о движении маршрутного и общественного транспорта (характеристики транспорта, вместимость, заполнение при въезде в сеть, маршруты движения, расписание движения, время нахождения транспорта на остановках, время задержки на остановках, расположение остановок, интенсивность движения пешеходов на остановках);
- пешеходное движение (характеристика тротуара, направление движения и интенсивность движения пешеходов на перекрестке).

Растровое изображение моделируемого перекрестка.

В качестве растровой основы изображения перекрестка использовалось импортированное отмасштабированное изображение исследуемой области с ресурса «Open Street Map». Технические характеристики перекрестка (расположение остановочных пунктов, маршрутного и общественного транспорта и геометрических размеров зон их функционирования, расположение и геометрические размеры пешеходных переходов, расположение светофоров) сверялись с чертежами градостроительного плана Калининского района, а так же корректировалось в процессе сбора информации на натурном объекте (пересечение Гражданского проспекта и проспекта Науки), рис. 2.

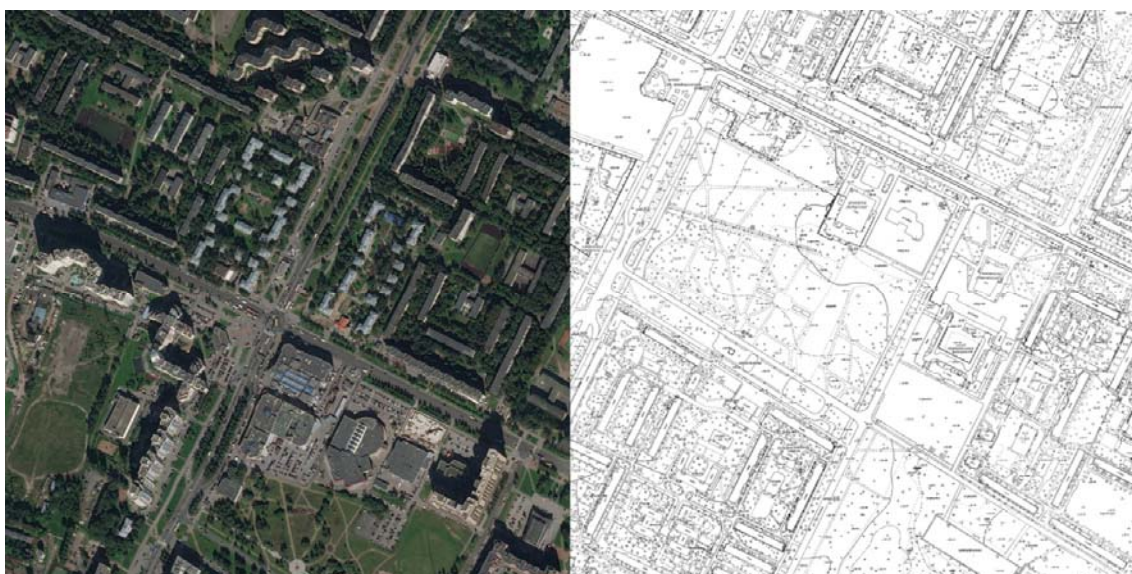


Рис. 2. Фрагмент импортированного изображения исследуемой области с ресурса «Open Street Map» и градостроительного плана Калининского района, Санкт-Петербург.

Масштабирование растровой основы фонового изображения, служащего рабочей областью разрабатываемой модели выполнялось в ручном режиме инструментальными средствами программы среды PTV VISSIM, согласно [28].

Схема и технические характеристики моделируемого перекрестка.

Разработка модели перекрестка осуществлялась с использованием общедоступных сервисов карт «Open Street Map», «Google Карты» и «Яндекс Карты», с последующим уточнением геометрических размеров объектов улично-дорожной сети (количество полос движения

по каждому направлению, ширина полос движения в сечении стоп-линии, точки начала закругления проезжих частей и радиусы закругления, границы перекрестка, границы пересечения проезжих частей), направлений движения транспортных потоков по полосам и траекторий движения транспорта через перекресток.

Исследуемое пересечение Гражданского проспекта и проспекта Науки представляет собой четырехсторонний регулируемый перекресток.

Общий вид перекрестка с выделением направлений движения транспортных потоков согласно организации дорожного движения представлен на рис. 3.



Рис. 3. Общий вид перекрестка Гражданского проспекта и проспекта Науки

Движение по проезжей части Гражданского проспекта на подходе к пересечению с проспектом Науки со стороны ул. Верности, осуществляется в двух направлениях, в каждую сторону предусмотрено по три полосы движения.

Движение по проезжей части Гражданского проспекта на подходе к пересечению с проспектом Науки со стороны ул. Северного проспекта, осуществляется в двух направлениях, в каждую сторону предусмотрено по три полосы движения.

Движение по проезжей части проспекта Науки на подходе к пересечению с Гражданским проспектом со стороны ул. Гжатская, осуществляется в двух направлениях, в каждую сторону предусмотрено по три полосы движения (с учетом трамвайных путей).

Движение по проезжей части проспекта Науки на подходе к пересечению с Гражданским проспектом со стороны ул. Софьи Ковалевской, осуществляется в двух направлениях, в каждую сторону предусмотрено по три полосы движения (с учетом трамвайных путей).

Ширина полос движения Гражданского проспекта со стороны Северного проспекта в сечении стоп-линии составляет:

при движении по Гражданскому проспекту по направлению к Северному проспекту: правая полоса - 3,5 м, средняя полоса - 3,5 м, левая полоса - 3,5 м;

при движении по Гражданскому проспекту по направлению к ул. Верности: правая полоса - 4 м, средняя полоса - 4 м, левая полоса - 3,5 м.

Ширина полос движения проспекта Науки со стороны ул. Гжатская в сечении стоп-линии составляет:

при движении по проспекту Науки по направлению к ул. Софьи Ковалевской: крайняя правая полоса - 4,3 м, средняя полоса - 3,5 м, левая полоса - 2,52 м (с учетом трамвайных путей);

при движении по проспекту Науки по направлению к ул. Гжатская: правая полоса - 4,3 м, средняя полоса - 3,5 м, левая полоса - 2,52 м. (с учетом трамвайных путей).

Ширина пешеходных переходов через проспект Науки составляет 4 м, а через Гражданский проспект - 6 м.

Модель дорожной сети дорожной сети Гражданского проспекта и проспекта Науки представлена на рис. 4.

Направление движения транспорта на перекрестке осуществляется согласно существующем ПДД, дополнительных знаков, регламентирующих движение транспортных потоков не размещено. Таким образом, правая полоса служит для движения в прямом направлении и поворота направо, средняя полоса – для движе-

ния только в прямом направлении, левая полоса – для движения в прямом направлении, поворота налево и разворота.

Правила приоритетного проезда были установлены с использованием функционального модуля «конфликтных зон» PTV VISSIM. Параметры конфликтных зон показаны на рис. 5.

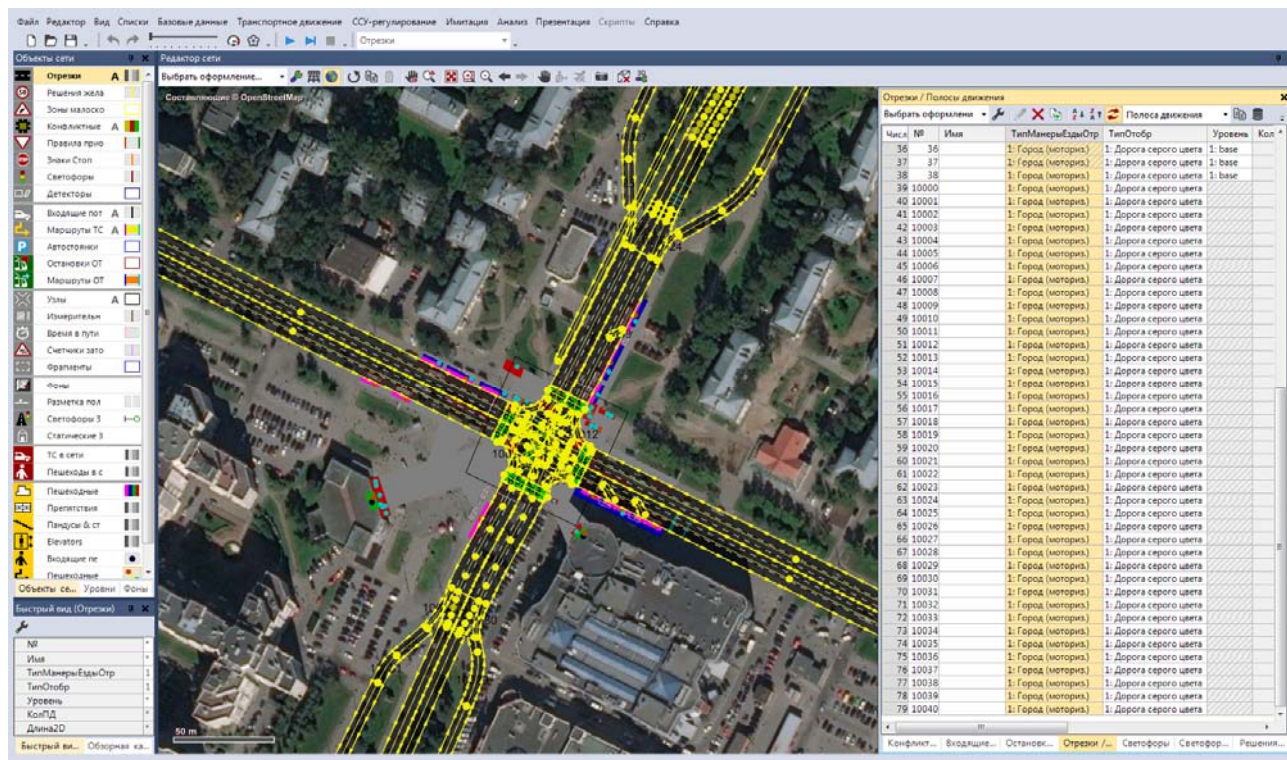


Рис. 4. Отрисованная модель дорожной сети Гражданского проспекта и проспекта Науки

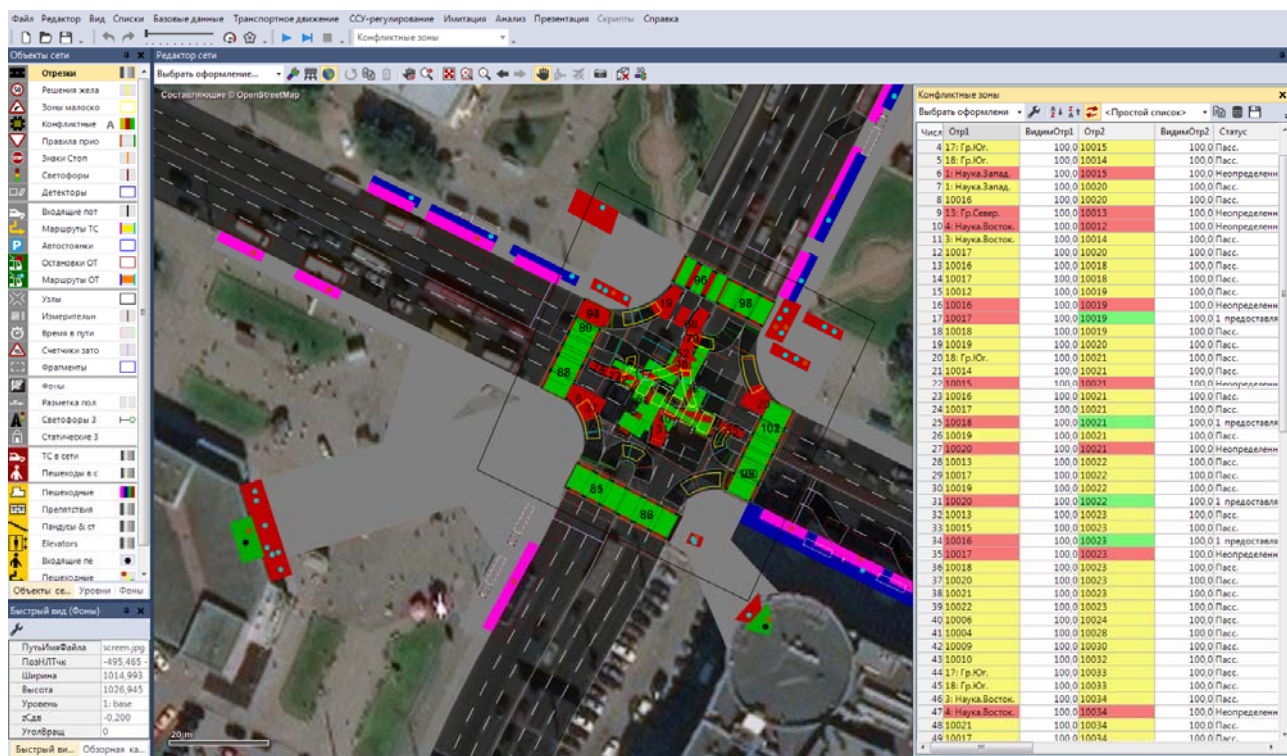


Рис. 5. Настройка конфликтных зон

Данные параметры задавались инструментальной средой PTV VISSIM, согласно принятым нормам для мегаполиса.

Состав транспортного потока так же задавался инструментальной средой PTV VISSIM, согласно принятым нормам для мегаполиса.

Подсчет интенсивности транспортных потоков производился в течение месяца непосредственно на реальном объекте и фиксировался в ручном режиме. Подсчет транспорта производился в часы пик (с 8-00 до 9-00 и с 18-00 до 19-00) по каждому из направлений движения в отдельности, таблица 1. Подсчет пешеходов производился в часы пик (с 8-00 до 9-00 и с 18-00 до 19-00) на каждом перекрестке по направлению (П1-П2), таблица 1.

Таблица 1.

Часовая интенсивность транспортных и пешеходных потоков на пересечении Гражданского проспекта и проспекта Науки

Схема исследуемого перекрестка с указанием направления движения транспортного потока	Картограмма интенсивности по направлениям	Часовая интенсивность транспортных и пешеходных потоков	
		Часовая интенсивность транспортных потоков авт/ч	
		1.2	228
		1.2	978
		1.3	210
		1.4	60
Часовая интенсивность пешеходных потоков чел/ч			
П1	2172		
П2	2004		
		Часовая интенсивность транспортных потоков авт/ч	
		2.1	228
		2.2	690
		2.3	204
		2.4	48
Часовая интенсивность пешеходных потоков чел/ч			
П1	672		
П2	588		
		Часовая интенсивность транспортных потоков авт/ч	
		3.1	186
		3.2	402
		3.3	126
		3.4	18
Часовая интенсивность пешеходных потоков чел/ч			
П1	828		
П2	1026		
		Часовая интенсивность транспортных потоков авт/ч	
		4.1	204
		4.2	528
		4.3	84
		4.4	36
Часовая интенсивность пешеходных потоков чел/ч			
П1	1056		
П2	1362		

Расположение светофоров на перекрестке, количество секций каждого светофора, цикл переключения сигналов и время на каждом такте

поэтому при подготовке к процессу создания его модели также определялось расположение светофоров и параметры их работы, рис. 6.

Ввод светофорных циклов в имитационную модель перекрестка представлен на рис. 7.

Исследуемый перекресток является регулируемым,

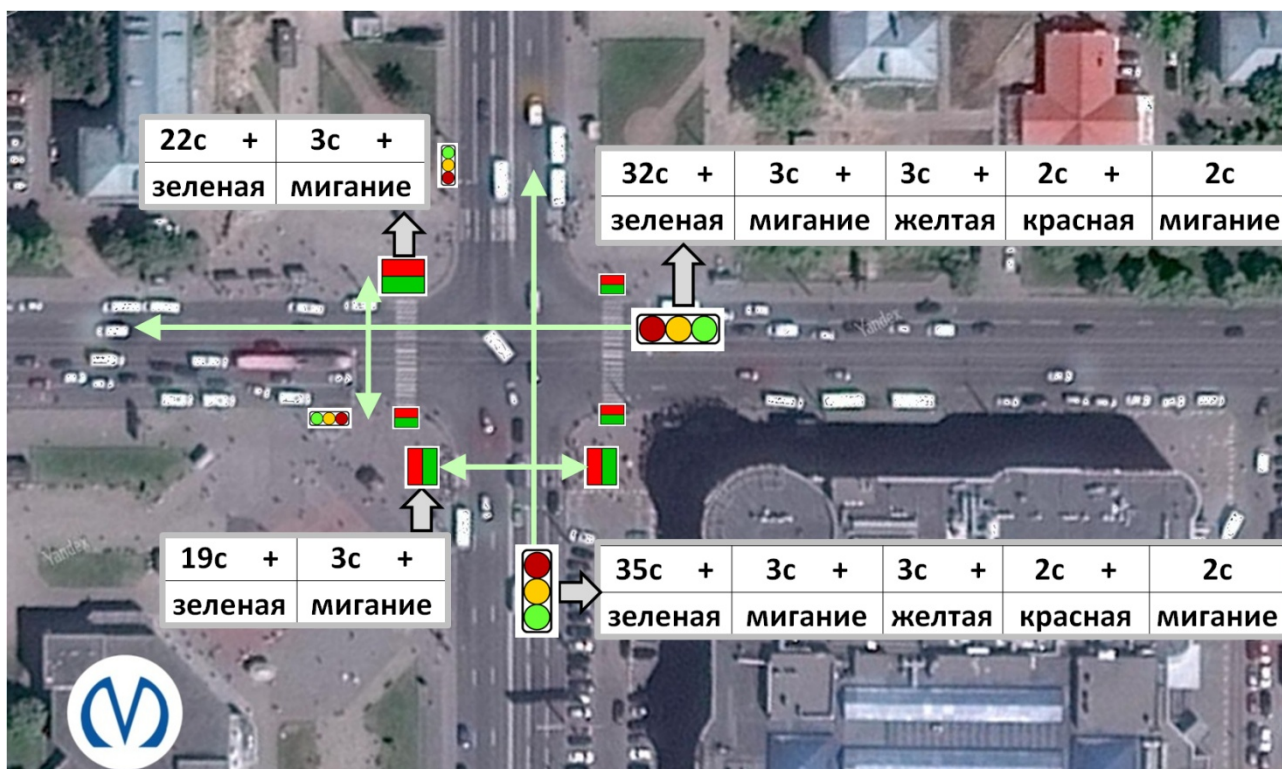


Рис. 6. Параметры работы светофоров на перекрестке Гражданского проспекта и проспекта Науки

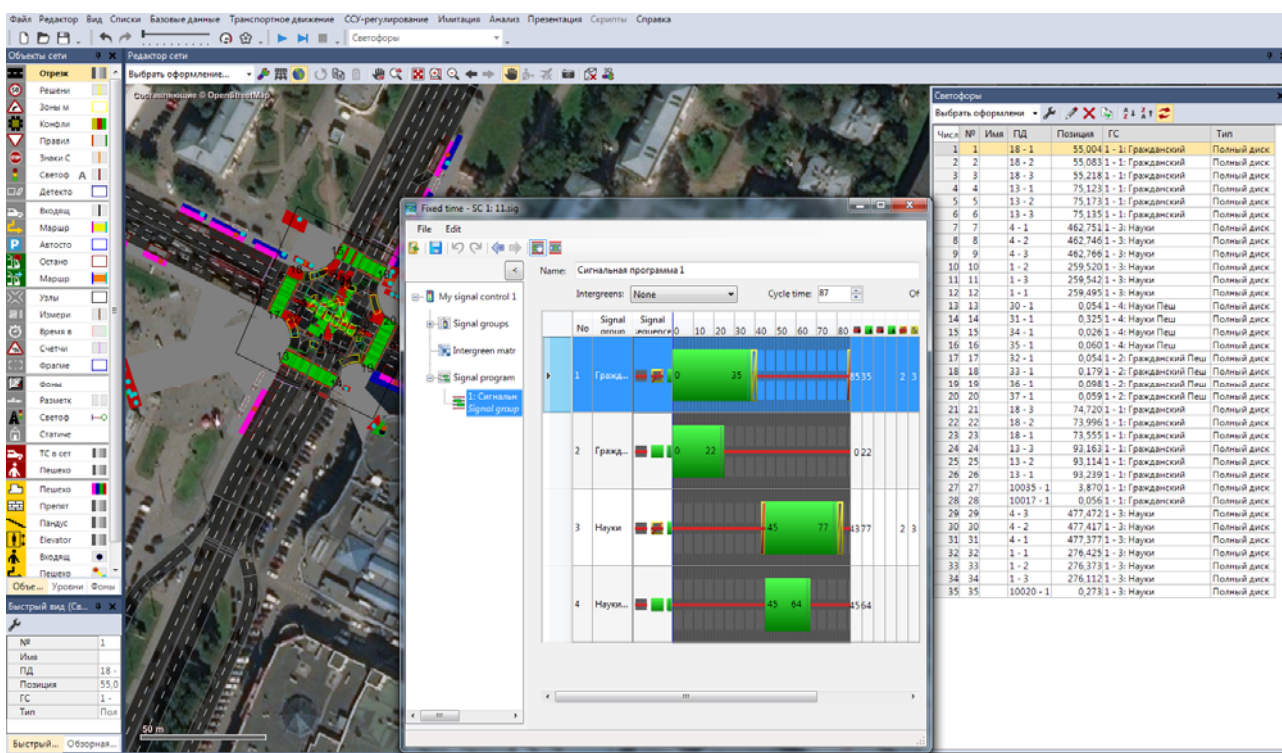


Рис. 7. Ввод светофорных циклов в имитационную модель перекрестка

Расположение светофоров уточнялось с использованием «Яндекс Карт» и корректировалось согласно реальному объекту. Регулирование движения транспорта через Гражданский проспект и проспект Науки осуществляется трехсекционными светофорами (трехфазными), а движение пешеходов двухсекционными (двухфазными).

Данные о движении маршрутного и общественного транспорта

Сбор данных о движении маршрутного и общественного транспорта осуществлялся в часы пик (с 8-00

до 9-00 и с 18-00 до 19-00) в течении месяца. Интервалы движения замерялись с использованием ресурса «Яндекс Карты» и уточнялись в ходе натурных замеров. Для упрощения создания модели номера маршрутов и интервалы движения были соотнесены с направлением движения транспорта через перекресток согласно Таблице 2.

Таблица 2.

Номера маршрутного и общественного транспорта и интервал движения, соотнесенные с направлением движения через перекресток.

Направление движения через перекресток	Номера маршрутного и общественного транспорта и интервал движения								
	Маршрутные такси								
	К	К9	К94	К101	К176	К193	К278	К278А	К325
	I,мин	5	20	20	12	20	15	15	15
	Автобусы								
	А	А176							
	I,мин	12							
	Трамваи								
	Тр	Тр9	Тр38	Тр57					
	I,мин	24	20	29					

	Маршрутные такси			
	К	К95	К175	
	I,мин	20	20	
	Автобусы			
	А	А60		
	I,мин	15		
	Троллейбусы			
	Т	Т6		Т31
	I,мин	15		20

	Маршрутные такси			
	К	К93	К288	
	I,мин	20	15	
	Автобусы			
	А	А93		
	I,мин	12		

	Маршрутные такси		
	К	К131	
	I,мин	15	



Автобусы		
А	40	
І,мин	15	



Маршрутные такси					
К	К72	К102	К178	К191	
І,мин	10	15	15	10	
Автобусы					
А	А102	А103	А153	А177	А178
І,мин	20	120	20	20	15



Маршрутные такси			
К	К6	К330	
І,мин	20	20	



Автобусы		
А	А61	
І,мин	20	

В ходе исследования установлено, что через моделируемый перекресток проходят маршруты различных видов общественного транспорта - трамваев, троллейбусов, автобусов и маршрутных такси. Также на перекресток организован выход из м. Академическая.

Созданные в модели маршруты движения общественного транспорта представлены на рис. 8.

Маркером выделены маршруты трамваев, проходящие Гражданский проспект по направлениям проспект Науки (запад, восток).

Пешеходное движение

Создание сети тротуаров и пешеходных дорожек

производилось с использованием «Open Street Map». Технические параметры пешеходного пространства уточнялись на натурном объекте. Подсчет интенсивности пешеходных потоков производился в течение месяца на реальном объекте. Ввод пешеходного потока также согласовывался с данными метрополитена м. Академическая [29]. Скорость пешеходов задавалась программным комплексом PTV VISSIM - «по умолчанию».

В результате была создана микроскопическая транспортная модель перекрестка, отражающая существующую транспортную ситуацию.

Имитационный прогон модели представлен на рис. 9.

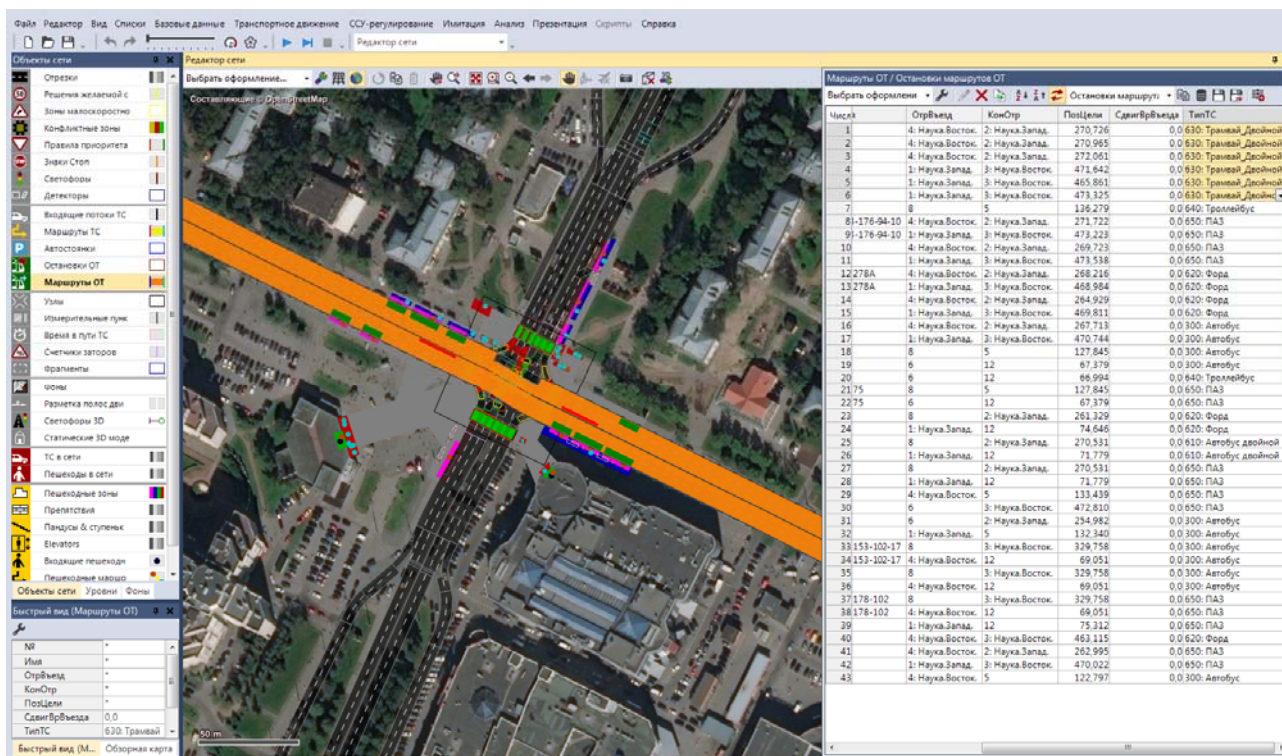


Рис. 8. Ввод движения общественного транспорта



Рис. 9. Имитационный прогон модели

Разработанная микроскопическая транспортная модель позволяет анализировать пропускную способность перекрестка при изменении интенсивности транспортных и пешеходных потоков, маршрутов общественного транспорта, а также режимов светофорного регулирования и их оптимизации. Развитие программных комплексов транспортного моделирования согласуется с

моделями систем интеллектуального управления и может быть использовано в обобщенной системе управления транспортом мегаполиса [30].

Результаты оценки исследуемого перекрестка с использованием разработанной имитационной модели представлены в таблицах 3 и 4 с расшифровкой.

Таблица 3

SIMRUN	TIMEINT, [с]	DCM	NAME	AA, [м / с ²]	DIST (ALL) [м]	LENGTH (ALL) [м]	VEHS (ALL)	PERS (ALL)	QUEUEDELAY (ALL) [с]	SAAA [км / ч]	SAHA [км / ч]	OCCUPRATE (ALL)
1	0-3600	1	Наука.Восток	0,69	320,82	4,61	260	413	119,16	44,35	36,62	7,49%
1	0-3600	2	Наука.Запад	1,55	384,13	4,68	291	351	138,66	40,02	36,5	3,57%
1	0-3600	3	Гр.Запад	0,64	308,52	4,81	294	739	156,54	45,17	40,39	4,33%
1	0-3600	4	Гр.Юг	0,76	370,65	4,62	358	516	92,95	45,39	41,27	4,16%

Таблица 4

SIMRUN	TIMEINT [с]	QUEUECOUNTER	QLEN [м]	QLENMAX	QSTOPS [м]	NAME
1	0-3600	1	411,8	512,72	2088	Гр.Юг
1	0-3600	2	435,1	506,29	2575	Наука.Восток
1	0-3600	3	443,37	513,03	2590	Наука.Запад
1	0-3600	4	436,33	506,28	997	Гр.Север

Расшифровка обозначений к таблице 3

SIMRUN - имитационный прогон; *TIMEINT* - интервал измерения; *DCM* - DATA COLLECTION MEASUREMENT - измерения по направлениям сети; *NAME* - имя участка сети; *AA-ACCELERATION(ALL)* - ускорение всех транспортных средств на интервале измерения; *DIST(ALL)* - общее расстояние, расстояние, охваченное сетью всех транспортных средств на интервале измерения сбора данных; *LENGTH(ALL)* - общая длина всех транспортных средств на интервале сбора данных; *VEHS(ALL)* - количество транспортных средств на интервале сбора данных; *PERS(ALL)* - общее количество человек в транспортных средствах; *QUEUEDELAY(ALL)* - общая задержка очереди, задержка в очереди всех транспортных средств на интервале измерения сбора данных; *SAAA-SPEEDAVGHARM(ALL)* - среднее арифметическое скорости всех транспортных средств на интервале измерения этого сбора данных; *SAHA-SPEEDAVGHARM(ALL)* - гармоническая средняя (для всех), среднее значение гармоник скорости всех транспортных средств на интервале измерения для этого сбора данных; *OCCUPRATE(ALL)* уровень заполняемости (для всех), доля [0..100%] последнего шага моделирования, где была занята хотя бы одна точка сбора данных.

Расшифровка обозначений к таблице 4

SIMRUN - имитационный прогон; *TIMEINT* - интервал измерения; *QUEUECOUNTER* - счетчик очереди; *QLEN* - средняя длина очереди: на каждом временном шаге текущая длина очереди измеряется вверх по потоку счетчиком очереди, и поэтому среднее арифметическое рассчитывается за промежуток времени; *QLENMAX* - максимальная длина очереди, на каждом временном шаге текущая длина очереди измеряется вверх по течению от счетчика очереди, и поэтому максимум рассчитывается за промежуток времени; *QSTOPS* - количество остановок очереди; *NAME* - имя участка сети.

Обсуждение полученных результатов

Расчетные величины показателей (*QLEN*, *QLENMAX*) позволяют сделать вывод, о высокой загруженности перекрестка (транспортными и пешеход-

ными потоками). Более того, уже на данном этапе прогона модели, можно сделать вывод, о том, что оптимизацией лишь только циклов светофорного регулирования, при существующей загрузке перекрестка, достичь серьезного улучшения транспортной ситуации невозможно. Развитие жилой, коммерческой и социальной инфраструктуры в прилегающих районах позволяют прогнозировать дополнительный рост транспортной нагрузки. Таким образом, решение задачи повышения качества обслуживания транспортных потоков на пересечение Гражданского проспекта и проспекта Науки следует искать в границах развития транспортной инфраструктуры перекрестка, направленной на минимизацию пересечений транспортных потоков (строительство подземного/надземного перехода, подземной/надземной развязки, и др.), а также в комплексном совершенствовании транспортной сети района, в том числе: реорганизация схем движения транспортной сети и создание улиц с односторонним движением, оптимизация маршрутов движения пассажирского транспорта и строительство новых развязок.

Литература

1. Якимов М.Р. Математическое моделирование распределения транспортного спроса в транспортной системе города / М.Р. Якимов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2010. – № 12. – С. 7-13.
2. Резер С.М., Дугин Г.С. Совершенствование транспортной ситуации в Москве // Транспорт: наука, техника, управление. – 2013. – № 1. – С. 7-10.
3. Malygin I., Komashinskiy V., Asaul A. The project of intellectual multimodal transport system. В сборнике: Transportation Research Procedia 2017. С. 25-30
4. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А. Разработка показателей интегрального развития транспортной системы мегаполиса // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т.7. – № 5 (30). – С. 156
5. Селиверстов С.А. Разработка показателей транспортной обеспеченности // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 4 (45). – С. 48-63.
6. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А. О разработке показателей анализа оценки транспортной составляющей в структуре городского квартала // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 4 (52). – С. 55-69.

7. Сафронов Э.А. Совершенствование методов управления развитием транспортных систем крупных городов / Э.А. Сафронов, К.Э. Сафронов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2009. – № 13. – С. 24-29.
8. Малыгин И.Г., Асаул А.Н. Интеллектуальный метод организации парковочного пространства Санкт-Петербурга // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы - 2017 Материалы Международной научно-практической конференции. ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук. - 2017. - С. 9-13
9. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А. Метод построения пути субъективного предпочтительного следования // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2016. – № 4. – С. 31-37.
10. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А., Стариченков А.Л. О методе организации бесконфликтного непрерывного процесса движения транспорта в мегаполисе // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 10. – С. 26-35.
11. Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А. Методы и модели построения матриц транспортных корреспонденций // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – № 2-3 (217-222). – С. 49-70.
12. Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А. Формальное построение цепочек транспортной активности городского населения // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – № 4 (224). – С. 91-104.
13. Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А., Лукомская О.Ю. Обзор развития интеллектуальных транспортных систем // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 6 (60). – С. 84-91.
14. Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А. Разработка модели городского анализатора данных для интеллектуальной транспортной системы "умного города" // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 12. – С. 3-23.
15. Fellendorf, M., & Vortisch, P. Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. In Fundamentals of Traffic Simulation (1 ed., Vol. 145, pp. 63-94). (International Series in Operations Research & Management Science). New York: Springer Science+Business Media. DOI 10.1007/978-1-4419-6142-6_2,
16. Y. Yang, G. Yang. Study of Intersection Optimization Near Transportation Hub. Based on VISSIM. International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition Vol.9, No.6 (2016), pp.323-332 <http://dx.doi.org/10.14257/ijsp.2016.9.6.28>
17. Menneni S, Sun C, Vortisch P (2008) Microsimulation calibration using speed-flow relationships. Transportation research board, vol 2088. Washington pp 1–9
18. Hossain MJ. Calibration of the microscopic traffic flow simulation model VISSIM for urban conditions in Dhaka city. Master thesis, 2004. University of Karlsruhe, Germany
19. M. Saidallah, A. El Fergougui, A. E. Elalaoui. A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators. 2016 5th International Conference on Transportation and Traffic Engineering (ICTTE 2016). 6 pp. DOI: 10.1051/ 0 (2016) mateconf/20168105002
20. Gai and Chunying. Microscopic Simulation System VISSIM and Its Application to Road and Transportation Highway (8) (Aug 2005), pp. 118-121
21. Lownes, N. E. and Machemehl, R. B. (2006). "Sensitivity of simulated capacity to modification of VISSIM driver behaviour parameters." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, TRB, Vol. 1988, pp. 102–110, DOI: 10.3141/1988-15.
22. Chitturi, M. V. and Benekohal R. F. (2008). "Calibration of VISSIM for freeway." Proc. of 87th TRB Annual Meeting, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.
23. M.M. Ishaque, B. R. Noland. Pedestrian and Vehicle Flow Calibration in Multimodal Traffic Microsimulation. Journal of Transportation Engineering (Jun 2009), pp. 338-348
24. D. Lin, X. K. Yang and C. Gao, "Road Network of CBD in Beijing, China", Procedia-Social and Behavioral Science, vol. 96, (2013), pp. 461-472.
25. Mehar, A., Chandra, S. & Velmurugan, S. Highway capacity through vissim calibrated for mixed traffic conditions. KSCE Journal of Civil Engineering, March 2014, Volume 18, Issue 2, pp 639–645. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0440-3>
26. Seliverstov S.A., Malygin I.G., Starichenkov A.L., Muksimova R.R., Grigoriev V.A., Asaul A.N. Modeling of megalopolis traffic flows with the introduction of a new line of water intercity passenger transport. В сборнике: Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017 20. 2017. С. 278-280.
27. Chandra, S., Mehar, A. & Velmurugan, S. Effect of traffic composition on capacity of multilane highways. KSCE Journal of Civil Engineering. July 2016, Volume 20, Issue 5, pp 2033–2040. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0479-9>
28. A+S. Краткое руководство по выполнению проектов в PTV Vissim 6. ©2014.
29. <http://www.metro-spb.ru/statisticheskie-dannye.htm>
30. Селиверстов Я.А., Селиверстов С.А., Лукомская О.Ю. Разработка структурной схемы системы городского транспортно-логистического мониторинга // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Т. 10. – № 12. – С. 55-64.

Сведения об авторах:

Селиверстов Святослав Александрович, научный сотрудник лаборатории проблем развития транспортных систем и технологий. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук.
 Адрес: 199178, г. СПб, 12-я линия ВО, д.13.
 Тел.: +7(812) 323-29-54,
 e-mail: seliverstov_s_a@mail.ru.

Яковенко Олег Леонидович, магистрант. Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики.

Адрес: 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49,
e-mail: oleg.jakovenko@apluss.ru.

Селиверстов Ярослав Александрович, старший научный сотрудник лаборатории проблем развития транспортных систем и технологий. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской Академии Наук

Адрес: 199178, г. СПб, 12-я линия ВО, д.13.

Тел.: +7(812) 323-29-54,

e-mail: maxwell_8-8@mail.ru.

Никитин Кирилл Вячеславович, доцент, кафедра «Компьютерные системы и программные технологии» Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)

Адрес: 194021, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, дом 21, 9-й учебный корпус.

Тел.: +7 (812) 297-16-28,

e-mail: execiter@mail.ru.

Черемисина Анастасия Анатольевна, доцент, кафедра «Инновационных технологий управления в государственной сфере и бизнесе». Российский государственный гидрометеорологический университет.

Адрес: 192007, Санкт-Петербург, Воронежская улица, дом 79

Тел.: +7 (812) 6330182,

e-mail: cheremi-nastya@yandex.ru.

Выдрина Евгения Олеговна, доцент, кафедра «Инновационных технологий управления в государственной сфере и бизнесе». Российский государственный гидрометеорологический университет

Адрес: 192007, Россия, Санкт-Петербург, Воронежская улица, дом 79

Тел.: +7 (812) 6330182,

e-mail: Jenek_55@mail.ru.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Канд. техн. наук **Грушников В.А.**

(Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук. ВИНТИ РАН)

ON THE EFFICIENCY OF AUTOMOBILE DEVICES OF PASSIVE SAFETY

Grushnikov V.A., Ph.D. (Tech.)

(All-Russian Institute for Scientific and Technical Information. VINITI RAS)

Автомобильный транспорт, колесные транспортные средства, безопасность дорожного движения, столкновения в дорожно-транспортных происшествиях, пассивная безопасность.

Road transport, wheeled vehicles, road safety, collisions in traffic accidents, passive safety.

Столкновения в дорожно-транспортных происшествиях, по-прежнему, остаются серьезной глобальной угрозой человечества, являясь причиной многих тысяч ежегодных смертей и травм на автомобильных дорогах общего пользования. Предотвращение столкновений колесных транспортных средств может обеспечиваться системами активной безопасности, а смягчение последствий – системами пассивной безопасности. Важно правильно их использовать.

Collisions in road accidents still remain a serious global threat to humanity, causing many thousands of annual deaths and injuries on public roads. Avoiding these collisions of wheeled vehicles can be provided by active safety systems, and mitigation - by passive safety systems. It is important to use them correctly.

Несмотря на немалые усилия исследователей, конструкторов, технологов автомобилестроения и специалистов по организации транспортного процесса и безопасности дорожного движения, столкновения колесных транспортных средств (КТС) в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) продолжают уносить большое количество жизней и приводить к травмированию их пользователей и пешеходов. Предотвращение этих печальных коллизий или хотя бы смягчение последствий возможно на основе адекватного реальным условиям описания механизмов столкновений разных типов.

Примером успешной попытки решения этой задачи является [1] разработка биомеханиками США вероятных сценариев ДТП. По результатам предварительного анализа официальной статистики базы Biodynamics Data Resource фронтальных и задних столкновений в период между 1973 и 1989 гг. и данных стендовых испытаний с групповым категорированием получены кластеры адресного воздействия и механических повреждений головы, шеи, торса, тазобедренных суставов, коленей и голеней пользователей сидений пассажирских КТС разных типоразмеров и получены диапазоны перегрузок в виде отрицательных ускорений. Смертельные травмы оказались наиболее вероятными как для фронтальных, так и для задних столкновений в виде черепно-мозговых и позвоночных повреждений с рисками 5, 25 и 50% смертельных исходов при перегрузках 89, 105 и 114 g, соответственно, в первом случае, и 96, 122, 138 g, соответственно, во втором случае. Но значения максимальных перегрузок являются уже запредельными.



Рис. 1. Испытание легкового автомобиля
на фронтальное столкновение

Наиболее частыми объектами повреждений, главным образом, во фронтальных столкновениях, являются грудная клетка и нижние конечности пользователей КТС – водителей и пассажиров. Наряду с данными официальной статистики ДТП, это подтверждается многими исследованиями, например - результатами 20-ти стендовых испытаний на разгонной катапульте с подробной и углубленной всесторонней статистической аналитикой кинематики манекенов Hybrid III, THOR-M и человека при фронтальном столкновении, проведенными [2] в Центре биомеханики травм Блэксбурга

(шт. Вирджиния, США). Его сотрудниками разработаны рекомендации по оптимизации конструктивно-технологического исполнения и функционирования фронтальной, корпусной, размещенных в центральной части рулевого колеса, и коленной (под приборной панелью) надувных подушек безопасности, которыми оснащаются современные легковые автомобили Toyota Camry.

Испытания проведены в точном соответствии со стандартной методикой испытаний US-NCAP, в качестве составных элементов человеческого тела использованы их имитации из жестких пенополиуретановых компонентов с удельной прочностью 131 и 448 кПа. Анализ статистических данных проведен по стандарту ISO/TS 18571 и подтвердил принципиальную правильность представлений об угрозах механических повреждений при столкновениях в ДТП, уточнив значения их параметров.

Похожие результаты получены [3] в исследовании по анализу повреждений грудной клетки детей и взрослых в автокатастрофах, проведенном специалистами по безопасности дорожного движения и медиками штата Северная Каролина США. Количественными значениями показателей оценены риски столкновений в ДТП по функционально независимым, хранящимся в Национальном банке данных типовым проявлениям так называемой сокращенной шкалы от двух до пяти характерных травм грудной клетки людей возрастных групп 7-18 лет, 19-45 лет, 46-65 и 66+. Для каждой из них рассчитан индекс риска травмирования, позволяющий прогнозировать и при реконструкции ДТП оценивать вероятность и тяжесть повреждений, соответственно, по шкале риска инвалидности от 0 до 100%. Среднее значение этого показателя составило 20% для детей, 22% - молодых, 29% - пользователей автомобилей среднего возраста и 43% - для пожилых людей.

В развитие результатов этих и других исследований сербскими специалистами по безопасности дорожного движения, например, оценена [4] действенность активно ориентированного дорожного законодательства в снижении детского травматизма. По анализу официальной статистики ДТП оценена эффективность предотвращения в идеале или реального снижения детского дорожного травматизма по результатам внесенных в 2009 г. в дорожное законодательство Сербии более жестких требований по адекватному возрасту и антропометрическим параметрам детского удерживающего устройства типа ISOFIX. Устройство проверено на примере съемного кресла с надежным креплением на штатных автомобильных сиденьях и фиксацией трехлетнего и креплением 4...12-летнего ребенка ремнями безопасности (РБ). Уже в первый год действия обновленного законодательства снижение детского травматизма составило 2%, а через шесть лет после его вступления - 8,2%. К декабрю 2014 г. было предотвращено 369 случаев детского травматизма.

Частота и тяжесть травмирования нижних конечностей водителей КТС при фронтальных столкновениях в ДТП стала [5] целью исследований североамериканских специалистов по безопасности дорожного движения. В двух сценариях реконструкции фронтальных столкновений с повреждениями нижних конечности и девяти без них с модельной имитацией этих событий для разных типоразмеров КТС, управляемых водителями разного возраста, стажа, роста и массы с использованием

метода полуавтоматической оптимизации по критерию силы импульса удара фронтального столкновения оценены наиболее значимые факторы риска травматизма. По результатам анализа 120 имитаций получено снижение неопределенности количественной оценки диапазонов вариации и значимости регулировок продольного положения опорной подушки, угла наклона спинки сиденья, угла наклона рулевой колонки и высоты положения рулевого колеса.

Тяжесть травматизма локально выявлена расчетами по кинематическим регрессионным математическим моделям для бедер, голеней и лодыжек нижних конечностей. Показатель нагруженности большеберцовой кости левой ноги водителя в сценариях травмирования составил 1,79, для правой - 1,19, т. е. на 79% и 19%, соответственно, выше, чем по всему телу пострадавшего в ДТП пользователя КТС. Риски повреждений кости бедра оказались на 13,6% меньше, лодыжки - на 19,5%.

Очень важным моментом в оценке вероятности и тяжести травматизма в ДТП нижних конечностей водителя КТС является знание реакции их мышц на ударный импульс. Этот механизм проанализирован [6] в совместном экспериментальном исследовании североамериканских и китайских специалистов по безопасности дорожного движения. На основе анализа многочисленной статистической информации оценена эффективность защитных импульсных сокращений мышц нижних конечностей водителей легковых автомобилей и пассажирских микроавтобусов с современными системами пассивной безопасности.

Установлено, что использование в этих системах надувных коленных подушек безопасности при правильном срабатывании способно устранять или существенно ослаблять травмирующие последствия фронтальных столкновений. По результатам виртуальных и натурных испытаний эти оценки свидетельствуют об эффективности дополнения защитных свойств подушек безопасности головы и торса пользователей нижними при условии их оптимального приспособления по инициации к антропологическим параметрам пользователей КТС. Они реализуются адаптивными настройками процессорного модуля по отслеживанию ситуации датчиками инновационного вычислительного биомеханического комплекса.

Его действенность верифицирована результатами полнофакторной матрицы данных 48 реализаций конечно-элементного моделирования фронтальных столкновений в ДТП с оценкой повреждений 50-процентильных манекенов. По разработанной по результатам имитаций модели линейной регрессии установлено снижение осевой силы нагружения бедренной кости на $4,74 \pm 0,43$ кН, большеберцовой кости на $1,49 \pm 0,12$ кН и вероятность травмирования голени на $36 \pm 6\%$ при правильном относительном позиционировании ногных или так называемых коленных надувных подушек безопасности.

Динамическая нагруженность нижних конечностей, вообще, и бедер пользователей сидений КТС, в частности, является показательной функцией риска травматизма. Применительно к фронтальным столкновениям в ДТП она исследована [7] сотрудниками университета шт. Вирджиния, США. Основой их углубленного анализа стали результаты официальной статистики ДТП и оценки характера последствий фронтальных столкновений в ходе испытаний на разбивание и на салазочной

разгонной катапульты с использованием 5-ти, 50-ти и 95-процентильных манекенов.

С использованием параметрического метода имитационного моделирования с 95%-й доверительной вероятностью разработаны модели динамических функций риска нагруженности бедер и тазобедренных суставов пользователей сидений легковых автомобилей возрастных категорий 25, 50 и 75 лет. Идентификация параметрических геометрических дескрипторов бедренной кости человека и их возрастного распределения проведена на основе анализа основных компонент и математической регрессии статистическим методом Монте-Карло для генеральной совокупности данных сосредоточенных популяций.

При этом для высокой достоверности результатов оценки вероятности, рисков столкновений КТС в ДТП и нагруженности пользователей пассажирского подвижного состава автомобильного транспорта важно строгое соблюдение всех требований процедуры проведения испытаний. Это, в первую очередь, касается четкого отслеживания режимов перемещения без нарушения правил дорожного движения, что подтверждено [8] исследованием специалистов США по безопасности дорожного движения.

Во время проведения испытательных заездов по аттестованным маршрутам движения по дорогам общего пользования и полигонным трассам квалифицированными экспертами установлено, что эта оценка соблюдения скоростных режимов и правильности выполнения маневров очень полезна для адекватного прогнозирования ошибок, совершаемых водителями КТС разных типоразмеров. Кроме того, оказалось, что она продуктивна для выявления и диагностирования когнитивных нарушений и проявлений деменции, что подтвердилось у 45% из 373 водителей в возрасте 65 лет и старше.

Соблюдение правил дорожного движения для обеспечения его безопасности, в том числе, достигается использованием предписанных к применению средств защиты пользователей КТС, оказавшихся в ДТП. Тяжесть дорожно-транспортного травматизма многими исследователями этой проблемы связывается с использованием или неиспользованием наиболее действенных в системах пассивной безопасности с ремнями (РБ). В частности, результаты проведенного Всемирной организацией здравоохранения и Всемирным банком анализа официальной статистики ДТП свидетельствуют [9] о сильной корреляции дорожной смертности и тяжести травматизма с уровнем среднедушевого дохода населения и их зависимости, наряду с оснащением надувными подушками электронными системы пассивной безопасности, от использования водителями и пассажирами КТС эффективных РБ. Эти выводы основаны на данных обследований дорожной смертности и травматизма продолжительностью от 27 лет в Узбекистане до 41 года в Бразилии, в которых, как и в других рассматриваемых странах мира по состоянию на 2013 г. в Законе «О безопасности дорожного движения» не существовало требования обязательного применения РБ. Из-за их неиспользования общее число погибших и серьезно травмированных в ДТП составило 8462099 чел. в Нигерии, 7203570 чел. - в Марокко, 4695500 чел. - в Узбекистане, 3866391 чел. - в Камбодже, 3253359 чел. - в Бразилии и 3128721 чел. - в Шри-Ланке. Обязательность реализации этого требования сразу же снизило этот печальный показатель до 20%.

Оценка эффективности использования РБ в КТС наиболее иллюстративно демонстрируется на примере таких очень популярных в США грузопассажирских пикапов, в том числе, передвигающихся не только по автомобильным дорогам общего пользования с обязательным применением РБ, но и по проселочным дорогам. Эта оценка проведена [10] в серии виртуальных и экспериментальных исследований специалистами по безопасности дорожного движения штатов Мичиган и Вирджиния (США). Она продемонстрировала действенность использования детских удерживающих устройств типа ISOFIX для малолетних детей разного возраста в пластиковых креслах моделей Britax Marathon G4.1 и Evenflo Triumph, устанавливаемых и фиксируемых РБ на штатных, главным образом, задних сиденьях пикапов моделей Chevrolet Silverado, Nissan Frontier и Toyota Tundra.

По результатам 93% испытаний установлено соблюдение точных предписаний по обеспечению безопасности ребенка в случае столкновений только в 9%. В 28% случаев крепление РБ и его подвеска в арматуре на средней стойке кузова легкового автомобиля были достаточно адаптированы к фиксации детского удерживающего устройства. Наиболее распространенная ошибка его установки состояла в неправильном непосредственном присоединении штатного РБ автомобильного сиденья к арматуре подвески без использования специального регулирующего адаптера. И эти ошибки определяют эффективность использования РБ и уровень защиты пользователей КТС в столкновениях в ДТП.

Наиболее распространенным среди РБ, в особенности легковых автомобилей, являются трехточечные с замкнутой лентой из полиэстера, выдерживающий на разрыв усилие не менее 2800 кг. Они образуют поясной отрезок между петлей катушки принудительной намотки, зафиксированной на днище кузова под средней стойкой, и петлей с языком сопряжения с фиксатором замка на шарнирной стойке на образующей средней консоли и диагональный плечевой и грудной отрезок между замком и неподвижной или регулируемой скобой отклоняющей арматуры шарнирной подвески наверху средней стойки кузова.

Трехточечные РБ должны эффективно удерживать пользователей как передних, так и задних сидений. Например, исследователями проблем безопасности дорожного движения из штатов Техас и Мичиган США уточнены [11] условия оптимального применения трехточечных РБ для надежного удерживания пассажиров задних сидений с разными антропометрическими параметрами. По результатам основанных на анализе официальной статистики ДТП с углубленным исследованием причинно-следственных связей и последствий полигонных испытаний на фронтальное столкновение с разбиением о стандартный бетонный куб и на разгонной катапульты с использованием манекенов Hybrid III данных сделаны следующие выводы.

Для миниатюрных пассажиров женского пола лучшие защитные свойства трехточечного РБ шириной 38 мм при значительных перегрузках проявились при расположении его поясного участка в среднем 59 мм впереди и на 11 мм выше соединения тазовой и подвздошной костей, для более крупных - на 17 мм спереди и 22 мм выше. Для мужчин среднего телосложения эти параметры составили 34 мм и 10 мм, для крупного - 38 мм и 44 мм, соответственно.

Эффективность срабатывания РБ определяется многими факторами, в том числе - влиянием их настроек на антропометрические параметры пользователей сидений КТС. По результатам проведенных в Центре медицины университета Шарлоттсвилля (штат Вирджиния, США) исследований, например, установлено [12] что эффективность системы удержания пользователя сиденья легкового автомобиля и микроавтобуса характеризуется степенью натяжения плечевого и поясного отрезков трехточечного РБ. В конечном итоге, оно определяет нагружение тазобедренного сустава, прогрессирующее с увеличением так называемого индекса массы его тела. Основой исследований стала Национальная база данных ДТП в 10-летнем периоде 2003-2012 гг. со столкновениями на скорости не менее 56 км/ч. Сканирование положения радиографической метки РБ и его скручивания в 151 случаях экспериментов позволило точно идентифицировать 55 случаев потенциального травматизма, особенно серьезно проявляющегося в повреждающем нагружении тазобедренных суставов людей с излишней собственной массой.

В исследовании [13] по результатам анализа официальной статистики фронтальных и косых боковых столкновений КТС в ДТП и статистической обработки этой информации по моделям математической регрессии построены функции риска травматизма пассажиров передних и задних сидений. Они основаны на зарегистрированных датчиками ускорений и перемещений данных по энергопоглощающим способностям бамперов испытываемых КТС, хранящихся в государственной базе GIDAS Германии, в том числе, использующейся для реконструкции ДТП. Наиболее адекватной описывающей их протекания оказалась двухфакторная логистическая регрессия с бинарными значениями переменных (травмирование или не травмирование). Установлено, что риски травмирования в ДТП на скоростях столкновений от 30 до 60 км/ч на 25% выше при косых, чем при фронтальных.

Важность обоснованных ограничений скорости движения КТС проанализирована [14] в исследовании, преследовавшем своей целью получение эмпирических данных о влиянии факторов безопасности дорожного движения. Обнаружено положительное экспоненциальное соотношение между ограничением скорости и риском летального исхода столкновения в ДТП. Потенциал смертности в 1 случай на 100 столкновений в ДТП установлен для пешеходов при ограничении скорости в 40 км/ч, 50 км/ч - для пользователей легковых автомобилей при фронтальных столкновениях, 60 км/ч - для столкновений с неподвижными объектами, 80 км/ч при совершении правого поворота, левого поворота и бокового опрокидывания аварии и 110 км/ч - для задних столкновений.

Предотвращению фатальных исходов и травмирования в столкновениях КТС в разных видах ДТП способствует оптимальность использования РБ. Это в очередной раз подтверждено [15] результатами анализа пятилетней статистики ДТП, проведенного в центре Национальной системы безопасности дорожного движения США. Установлена высокая эффективность использования РБ при столкновениях: в 2011-2015 гг. ими было предотвращено 63843 смертельных исходов, чему, в немалой степени, способствовало то, что в 2015 г., например, обязательность использования РБ повысилась до уровня 90,1%. Вместе с тем, подмечено, что эффективность безопасного удержания водителей и пассажиров КТС в сиденьях повышается при правильной под-

гонке РБ, определяющей силовое воздействие на тело человека, кинематику его инерционных перемещений при разного рода замедлениях и столкновениях и степень травмирования. В многочисленных виртуальных исследованиях, стендовых и дорожных испытаниях с регистрацией перегрузок на манекенах ранее было установлено, что при фронтальных столкновениях неправильное позиционирование арматуры подвески РБ на средней стойке кузова легкового автомобиля может привести к неравносному распределению перегрузок плечевого, поясного и бедренного участков тела водителя и пассажиров, в первую очередь, передних сидений, а неадекватная ростово-весовым параметрам пользователей высота размещения и натяжения поясного ремня трехточечной системы удержания может привести к риску повреждения брюшной полости.

В связи с этим целью исследования стало оценивание эффективности функционирования системы пассивной безопасности современного легкового автомобиля, определяемой регулированием высоты подвески арматуры отклонения плечевого участка трехточечного РБ, с использованием видеонаблюдения. В разработанных рекомендациях учтены результаты многочисленных виртуальных и натурных испытаний с участием водителей разных типоразмеров КТС. Результаты лабораторных стендовых испытаний на представительном манекене водителя средней возрастной группы в легковом автомобиле-седане продемонстрировали высокие возможности регулирования высоты точки крепления отклоняющей арматуры подвески плечевого отрезка интегрального трехточечного РБ. Эти оптимальные регулировки дают возможность оптимизировать распределение нагрузок участков тела пользователя при замедлениях с экстренным торможением и перегрузок при столкновениях в ДТП путем регулирования по высоте, продольному позиционированию и наклону спинки автомобильного сиденья.

Различные варианты этих регулировок, главным образом по высоте подвески отклоняющей арматуры РБ, оценены по оптимизации сравнением с рекомендуемыми предписаниями Федерального стандарта безопасности автомобилей (FMVSS) США. Нижнее крепление петли в катушке намотки РБ оказалось оптимальным при установке на средний угол 52° (в диапазоне от 30° до 75°) к поясному отрезку относительно горизонтали и 21° относительно вертикали.

Видеозапись реализации процесса натяжения РБ в течении 100 с до и после фронтального столкновения в ДТП позволила междисциплинарной группе экспертов в составе специалистов по безопасности дорожного движения, биомехаников, психологов, специалистов по коммуникации и видеoinформации разработать методику экспериментальной оценки эффективности использования РБ.

Действенность рекомендаций по оптимизации использования РБ водителями и пассажирами КТС проверена на виртуальных подконтрольных проездах на имитирующих реальное нагружение при экстренных торможениях и столкновениях в ДТП разных КТС современных тренажерах предварительно проинструктированных добровольных участников экспериментов. В них фиксировалось положение ног, рук на рулевом колесе и корпуса водителя, а также их перемещение при резких торможениях и столкновениях с регистрацией для точного ориентирования придорожных объектов. Особое внимание видеонаблюдения было уделено размещению поясного и плечевого отрезков трехточечного РБ.

Все участники этого лабораторного экспериментального исследования в обычной бытовой одежде были измерены по росту и массе с регистрацией отклонениями от этих стандартных показателей, а также зафиксированы размеры каблук и обуви. Особого внимания подверглись анализу положения опорной подушки и наклон спинки сиденья водителя. По истечении заданного промежутка времени участникам экспериментов было поручено надеть РБ в стандартном положении. Первоначальное выбранное и стандартное положения поясного и плечевого отрезков трехточечного РБ с диапазоном шагом в 5 мм контролировались щупами трехмерной координатно-измерительной машины FARO Arm® компании FARO Technology США).

По результатам фиксации рассматриваемых основных и вспомогательных (рулевое колесо, педаль управления подачей топлива, кузовное основание всех педалей, средняя консоль, приборная панель) контролируемых компонентов салона КТС в обработках цифровых видеозаписей в документальных регистрациях оценены диапазоны перемещений и относительное положение на теле пользователя сиденья поясного и плечевого отрезков трехточечного РБ. Имитационное моделирование их местоположений и перемещений на линейных регрессионных математических моделях позволило выявить высокий уровень корреляции с доверительной вероятностью более 93% коэффициентом до 0,78 надежности функционирования РБ от близости его отрезков к защищаемым зонам тела пользователей сидений КТС.

По результатам инструментального статистического анализа полученной в экспериментах фактической информации установлены степени защиты поясного и плечевого отрезков РБ с диапазоном их относительных перемещений в реальных испытаниях 20,2 мм и 9,7 мм – в лабораторных. В четырех различных вариантах исполнения трехточечных РБ оценена эффективность срабатывания поясного и плечевого его отрезков.



Рис. 2. Правильное использование трехточечного ремня безопасности

Инструментальная регистрация усилий натяжения поясного и плечевого отрезков РБ удержания 29 взрослых водителей разной высоты и массы КТС разных типоразмеров в различных сценариях их замедлений и фронтальных столкновений в ДТП в лабораторных

имитациях на тренажерах и в проездных испытаниях позволила установить, что в 95% случаев оптимизация функциональности РБ достигалась индивидуальной подгонкой его поясного и плечевого отрезков. И действенность РБ повышалась при максимальном приближении поясного отрезка к тазобедренным суставам, а диагонального плечевого – к ключице.

Результаты этих и других исследований активно используются при реализации международных, региональных и национальных программ повышения безопасности дорожного движения. Одна из таких программ во временном диапазоне 2008-2023 гг. на примере шести развивающихся стран мира разработана [16] международной финансово-информационной организацией Bloomberg. В ее основу положены результаты анализа исследовательской группой уровня смертности в ДТП в 2004-2013 гг. и целью является максимальное полезное использование возможностей систем активной и пассивной безопасности КТС и сетевой дорожно-транспортной инфраструктуры при обеспечении высокого уровня соблюдения предписаний правил дорожного движения с обоснованным ужесточением штрафных санкций, как неотъемлемого условия эффективной реализации такой комплексной системы. Первым шагом выполнения этих мероприятий стал пересмотр национальных Законов о безопасности дорожного движения в Бразилии, Китае, Кении, Мексике, Турции и Вьетнаме, позволивший сберечь в предотвращенных столкновениях в ДТП 2008-2013 гг. около 19000 человеческих жизней и способных в 2014-2023 гг. сберечь еще примерно 90000 жизней. Национальными законами предусматривается 13%-е улучшение защитной экипировки мотоциклистов с одновременным увеличением размеров штрафов. Снижение затрат на материальные потери и компенсации в Китае прогнозируются в размере 56%, во Вьетнаме - 35%.

По итогам проведенного анализа исследований и разработок по совершенствованию системы безопасного дорожного движения можно сделать выводы о сохраняющемся высоком уровне смертности и травматизма в ДТП на дорогах общего пользования даже в развитых странах мира, не говоря уже о развивающихся, повышении внимания автомобилестроителей и транспортников к проблеме активным совершенствованием средств защиты пользователей КТС в ДТП, усилении требований и частости обязательного использования наиболее распространенного устройства защиты в виде РБ, при правильном применении способного надежно защитить пользователя КТС в столкновениях в ДТП.

Литература

1. Olszko A.M., Beltran C.M., Vasquez K.B., MvGhee J.S., Chancey V.C., Yoganandan N., Pintar F.A., Baisden J.L. Initial Analysis of Archived Non-Human Primate Frontal and Rear Impact Data from the Biodynamics Data Resource// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19. Прил. 1.- С. 44-49.
2. Albert D.L., Beeman S.M., Kempes A.R. Occupant Kinematics of the Hybrid III, THOR-M, and Postmortem Human Surrogates Under Various Restraint Conditions in Fall-Scale Frontal Sled Tests// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19. Прил. 1.- С. 50-58.
3. Schoell S.L., Weaver A.A., Talton J.W., Barnard R.T., Baker G., Stitzel J.D., Zonfrillo M.R. Functional Outcomes of Motor Vehicle Crash Thoracic Injuries in Pediatric and Adult Occupant// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19, № 3.- С. 280-286.

4. Nazif-Munoz J.I., Nicolic N. The Effectiveness of Child Injuries: The Case of Serbia// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- 19. Прил. 1.- С. 7-14.
5. Ye X., Gaewsky J.P., Miller L.E., Jones D.A., Kelley M.E., Suney J.D., Koya B., Weaver A.A., Stitzel J.D. Numerical Investigation of Driver Lower Extremity Injuries in Finite Element Frontal Crash Reconstruction// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19. Прил. 1.- С. 21-28.
6. Nie B., Sathyanarayan D., Ye X., Crandall J.R., Panzer M.B. Active Muscle Response Contributes to Increased Injury Risk of Lower Extremity in Occupant-Knee Airbag Interaction// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19. Прил. 1.- С. 76-82.
7. Park G., Forman J., Kim T., Panzer M.B., Crandall J.R. Injury Risk Functions Based on Population-Based Finite Element Model Responses// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19. Прил. 1.- С. 59-64.
8. Duncanson H., Hollis A.M., O'Connor M.G. Errors versus speed on the trail making test: Relevance to driving performance// Accid. Anal. and Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 113.- С. 125-130.
9. Martin A., Lagarde E., Salmi L.R., Burden of Road Traffic Injuries Related to Delays in Implementing Safety Belt Laws in Low- and Lower-Middle-Income Countries// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19. Прил. 1.- С. 1-6.
10. Klinich K.D., Manary M.A., Malik L.A., Flannagan C.A., Jermakian J.S. Assessing Tether Anchor Labeling and Usability in Pickup Trucks// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19, № 3.- С. 113-119.
11. Park J., Ebert S.M., Reed M.P., Hallman J.J. Comparison of three-point Belt fit Between Humans and ATDs in Rear Seats// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19. Прил. 1.- С. 65-69.
12. Hartka T.R., Cars H.M., Smith B.R., Melmer M., Sochor M.R. Does Obesity Affect the Position of Seat Belt Loading in Occupants Involved in Realworld Motor Vehicle Collisions// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19. Прил. 1.- С. 70-75.
13. Andricevic N., Junge M., Krame J. Injury Risk Functions for Frontal Oblique Collisions// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19, № 5.- С. 518-522.
14. Doecke S.D., Kloeden C.N., Dutschke J.K., Baldock M.R.J. Safe Speed Limits for a Safe System: The Relationship Between Speed Limit and Fatal Crash Rate for Different Crash Types// Traffic Injury Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 19, № 4.- С. 404-408.
15. Jones M.L.H., Buckley L., Ebert S.M., Reed M.P., Hallman J.J. Evaluating an intervention to improve belt fit for adult occupants// J. Safety Res. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 64.- С. 93-104.
16. Miller T.R., Levy D.T., Swedler D.I. Lives saved by laws and regulations that resulted from the Bloomberg road safety program// Accid. Anal. and Prev. [Электронный ресурс].- 2018.- Том 113.- С. 131-136.

Сведения об авторе:

Грушников Виктор Александрович, старший научный сотрудник ОНИ по машиностроению Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН).

Телефон 8 499 152 59 10 (сл.),

e-mail: mach04@viniti.ru.

Адрес: Москва, ул. Усиевича, 20.

ПЕРЕДАЧА НАГРУЗОК В СОПРЯЖЕНИЯХ СЦЕПЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Кандидат техн. наук, доцент **Мухаметдинов Э.М.**,
кандидат техн. наук, доцент **Габсалихова Л.М.**,
аспирант **Гарипов Р.И.**

(ФГАОУ ВО Казанский Федеральный университет, Набережные Челны)

TRANSFER OF LOADS IN CAR CLUTCH CONNECTIONS FOR DEVELOPMENT OF A DIAGNOSTIC MODEL

Mukhametdinov E.M., Ph.D. (Tech), Associate Professor,
Gabsalikhova L.M., Ph.D. (Tech), Associate Professor,
Garipov R.I., Post-graduate
(Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny)

Автомобили, сцепление, диагностика, вибродиагностика, надежность, нагрузка в сопряжении сцепления.

Clutch, diagnostics, vibrodiagnostics, reliability, clutch load.

Статья посвящена вопросам применения неразрушающего контроля технического состояния сцепления автомобиля. Обоснована возможность применения вибрационного диагностирования для контроля технического состояния узла и прогнозирования отказов. Рассмотрен характер взаимодействия между прикладываемыми силами и реакциями, возникающими в сцеплении с крестово-фрикционной муфтой.

The article is devoted to the application of nondestructive testing of the technical condition of the car clutch. The possibility of applying vibration diagnostics for monitoring the technical state of the node and predicting failures is substantiated. The nature of the interaction between the applied forces and the reactions arising in the coupling with the cross-friction clutch is considered.

Введение

Осуществление непрерывного или периодического мониторинга технического состояния ответственных агрегатов в процессе эксплуатации бортовыми системами контроля с использованием динамических методов диагностирования и с автоматической постановкой диагноза, сбор и предоставление информации для прогнозирования остаточного ресурса, способствует поддержанию установленного уровня надежности и эффективности эксплуатации автотранспортной техники. Результаты анализа надежности многочисленных объектов свидетельствуют, что в процессе длительной и интенсивной эксплуатации почти все показатели надежности существенно изменяются и, более того, ухудшаются. Необходимо решить такую задачу, чтобы по результатам проведенного диагностирования можно было осуществлять прогнозирование технического ресурса устройств.

Вопросы вибродиагностики для контроля состояния технических систем рассмотрены в работах [1,2,3,4,5]. В этих работах были созданы и усовершенствованы методы обеспечения надежности узлов и агрегатов технических систем, изучены количественные закономерности их изменения при выполнении заданных функций. В работе [3] рассмотрены вопросы определения технического состояния шаровых элементов подвески автомобиля. Получена экспериментальная зависимость величины зазора от измеряемой величины напряжения.

Значительное количество выполненных экспериментально - теоретических работ по механизмам и агрегатам автотранспортных средств явилось одной из главных предпосылок к увеличению их долговечности. Од-

нако по сравнению с другими агрегатами колесных машин исследованиям, направленным на повышение показателей надежности сцепления, уделяется явно недостаточное внимание, при том, что этот узел является наименее надежным в трансмиссии грузовых автомобилей, тракторов и других транспортных средств [6,7,8].

Известные исследования последних лет не могут восполнить существенных пробелов в обеспечении достижения необходимой и равной долговечности сцепления, силового агрегата и трансмиссии в целом. Следует отметить, что еще далеко не все задачи в этом направлении решены и рассматриваемая проблема остается по-прежнему актуальной.

Вибрационная диагностика применительно к оценке технического состояния сцепления

Из существующих в настоящее время способов неразрушающего контроля технического состояния узла сцепления грузового автомобиля, определяемого нарушением центрирования ведущих дисков и возникновением дисбаланса в механизме, наиболее предпочтительными и эффективными можно считать методы вибрационной диагностики.

Выбор показателей вибрационных процессов в качестве источника информации о состоянии сцепления обусловлен следующими важными свойствами вибрационного сигнала:

- они отражают наиболее существенные физические процессы работы механизма;
- как носитель информации обладают большой емкостью;

– в большинстве случаев служат единственными индикаторами правильности работы основных сопряжений механизма, являясь обобщающими показателями его динамических свойств.

Применение средств вибрационного диагностирования позволяет осуществлять оперативный контроль параметров текущего состояния машин и механизмов в процессе эксплуатации без проведения разборки, спрогнозировать и предотвратить внезапные отказы, способствует тем самым повышению их долговечности и технико-экономических показателей.

Основным источником вибрации в механизме сцепления, являются динамические процессы, возбуждаемые развитием дисбаланса, вследствие нарушения центрирования ведущих дисков. При этом возникают значительные по амплитуде смещения картера сцепления относительно положения равновесия [9].

Изменение параметров вибрации (структуры сигнала), при появлении неисправностей сцепления (механизма с вращающимися частями) и интенсивное применение в последние годы сенсорной базы и вычислительной техники, создание на их основе совершенных средств инструментального контроля создают предпосылки для разработки вибрационного метода оценки технического состояния автомобиля.

Успешная реализация задач диагностики сложного объекта возможна только в результате анализа множества его состояний в период эксплуатации [10].

Формализация процесса диагностирования существенно облегчается при разработке диагностической модели, предполагающей деление объекта на отдельные, функционально связанные между собой элементы.

Передача нагрузок в сопряжениях сцепления с крестово-фрикционной муфтой при износах узла в процессе работы

подавляющее большинство сцеплений, устанавливаемых на отечественных автомобилях, относятся к фрикционным сухим дисковым сцеплениям, в которых используются силы трения сухих поверхностей. Во многих моделях большегрузных автомобилей многоцелевого назначения (КАМАЗ-4310, Урал-4320, КрАЗ-260 и др.) применяется двухдисковое сцепление (модели КАМАЗ 14, 142, ЯМЗ 238 и др.), содержащее маховик, нажимной и средний ведущие диски, сцентрированные и соединенные между собой для передачи крутящего момента четырьмя шипами и пазами. На сегодняшний день эксплуатируется достаточно большой парк транспортных средств, оснащенных таким типом сцепления.

В сцеплениях моделей КАМАЗ 14 (142), ЯМЗ 238 и др. используются крестово-фрикционные муфты (КФМ). Передача крутящего момента двигателя на ведущие диски сцепления, осуществляется через их крестообразно выступающие по наружному диаметру шипы, входящие в ответные пазы маховика.

Характер взаимодействия между прилагаемыми силами и реакциями, возникающими в сцеплении с КФМ при отклонении рабочих геометрических размеров деталей от номинальных конструктивных значений, имеет довольно сложный характер и изучен недостаточно.

При сборке узла сцепления, геометрические оси маховика, среднего ведущего и нажимного дисков совпадают с осью вращения, которое принимается за исходное положение «О».

С развитием износов подвижных сопряжений в процессе эксплуатации сцепления происходит смещение среднего ведущего и нажимного дисков в пазах маховика.

Вследствие образования эксцентриситета возникает относительное скольжение элементов муфты, результатом которого является работа трения. Скольжение дисков при наличии смещения будет тем значительнее, чем больше расстояние между центрами масс ведущих дисков и осью вращения маховика (См. рисунок).

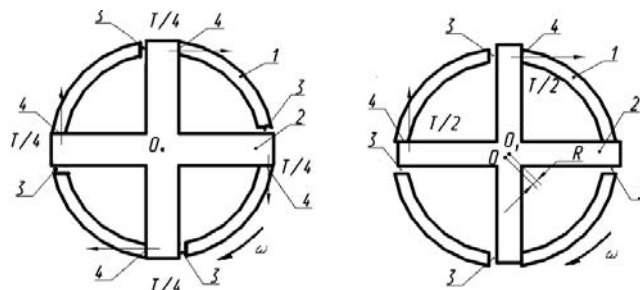


Рисунок. Схема передачи крутящего момента: а - в исходном состоянии, б - при смещении центра массы диска

1 – маховик; 2 – ведущий диск; 3 – зазор; 4 – работающая поверхность; T – сила от крутящего момента, приходящаяся на шипы диска; R – смещение центра масс диска; ω – угловая скорость

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что величина приложенной к ведущим дискам сцепления центробежной силы находится в прямой зависимости от смещения их центров масс. Очевидно, что при появлении даже малого эксцентриситета центробежная сила возрастает пропорционально квадрату частоты вращения и диаметра диска. В связи с этим ведущие диски для облегчения выполняются в форме кольца. Как правило, такие муфты применяются в агрегатах с низкой скоростью вращения [11].

Смещение центра масс среднего ведущего диска e с развитием износов в сопряжениях «шип-паз» достигает 6,7 мм, что при величине наружного диаметра среднего ведущего диска D равной 352 мм составляет $0,02D$. При массе диска 13,2 кг и его смещении 6 мм величина центробежной силы на частоте вращения 2600 мин^{-1} достигает 160 кг (1604 Н).

Смещение ведущих дисков узла сцепления с КФМ приводит к изменению количества контактирующих поверхностей и силовой схемы передачи крутящего момента от маховика к ведущим дискам через их сопряжения.

Для обеспечения осевого перемещения шипов ведущих дисков в пазах маховика в условиях работы сцепления при повышенных температурах и без смазки, их рабочие поверхности обрабатываются с зазорами по ходовым посадкам третьего класса точности. Однако, изготовление деталей с допустимой точностью, в соответствии с существующей технологией, обеспечивающей установленные зазоры в сопряжениях, не гарантирует получения равномерного прилегания по четырем рабочим поверхностям. Соответственно, не удастся достичь равномерного распределения удельного давления между четырьмя поверхностями контакта, от действия которой зависят величины деформации смятия и износов поверхностей.

При нормальных условиях коэффициент контактной жесткости k находится в пределах от $0,3 < k < 0,8$.

$$k = \frac{\delta}{q}, \quad (1)$$

где δ – деформации смятия, мкм; q – удельное давление на контактирующую поверхность, кг/см².

Для контакта чугуна по чугуну допустимая величина удельного давления q на практике составляет $150 \div 300 \text{ кг/см}^2$, при $q = 150 \text{ кг/см}^2$ деформация смятия δ составит 45 мкм.

Если предполагать, что в начале работы узла сцепления, при малых зазорах в сопряжениях и положении центра масс ведущих дисков в точке центрирования «О», удельное давление между 4-мя сопряжениями КФМ одинаково и равномерно распределено по площади контакта, уравнение моментов для общего случая будет иметь вид:

$$M_{кр} = nqsR_d, \quad (2)$$

где n – количество работающих поверхностей; s – площадь контакта в сопряжении, м².

Учитывая (1) и (2), получим что:

$$q = \frac{M_{кр}}{snR_d}. \quad (3)$$

Тогда деформация смятия шипов будет равна:

$$\delta = \frac{kM_{кр}}{snR_d}. \quad (4)$$

Из полученных выражений следует, что величина удельного давления и деформации смятия рабочих поверхностей сопряжения при прочих равных условиях определяется количеством контактирующих поверхностей. С появлением эксцентриситета начинают работать только две пары поверхностей, из которых одна по направлению передачи крутящего момента, а другая в противоположную сторону.

Происходящие изменения увеличивают удельное давление на контактные поверхности, приводят к непрерывному нарастанию деформации смятия под циклическим воздействием возрастающей центробежной силы.

Расчет на прочность контактных поверхностей маховика и ведущих дисков при закусывании одного шипа производится по максимальной динамической нагрузке в зацеплении одного шипа и паза.

Передаваемый крутящий момент $M_{кр}$, кг см, определяется формулой:

$$M_{кр} = 71620 \frac{N_e}{n}, \quad (5)$$

где N_e – передаваемая мощность, л.с.; n – частота вращения диска, об/мин.

Вводя коэффициент ε_1 степени ε перекрытия, составляющий $\varepsilon_1 = (0,75 \div 0,9)\varepsilon$, и коэффициент β , учитывающий степень перегрузки соединения, можно определить момент, передаваемый одним шипом, в виде:

$$M_{1ш} = \frac{\beta M_{кр}}{\varepsilon_1}. \quad (6)$$

Этот момент определяется произведением давления шипа, направленного по нормали к профилю сопряженного паза маховика на месте их соприкосновения. Так как положение точки контакта на профиле шипа меняется, изменяется и действующее на шип изгибающее усилие. Считая такое состояние предшествующим выходу детали из строя, принимаем его в качестве расчетного и определяем окружное давление, действующее на шип диска:

$$P_{1ш} = \frac{M_{1ш}}{R_{1ш}} = \frac{\beta M_{кр}}{\varepsilon_1 R_{1ш}}, \quad (7)$$

где $R_{1ш}$ – радиус окружности кромки вершины шипа.

Погрешности зацепления, получающиеся при изготовлении шипов, заданный тепловой зазор и деформация под нагрузкой, вызывают колебания скорости вращающихся масс коленчатого вала и первичного вала. Колебания ведут к тому, что в пределах зазора между шипами и пазами Δ происходит удар, вызывающий дополнительную нагрузку и износ поверхностей сопряжений. Учитывая погрешности, деформацию и колебания скорости, действующее на шип изгибающее усилие, выражается в виде:

$$P_u = \varphi P_{1ш} = \frac{\varphi M_{кр}}{\varepsilon_1 R_{1ш}}. \quad (8)$$

Рассчитанное усилие P_u представляет одну из составляемых, тангенциальную полного давления P_n паза на шип. Эта сила изгибает шип.

Второй слагающей является радиальная сила $P_r = P_u \tan \alpha$, сжимающая шип. Данная сила оказывает незначительное усилие, но ее действием пренебрегать нельзя. Рассматривая шип как балку, закрепленную одним концом и нагруженную силой P_u на свободном конце, можно определить теоретическую форму шипа и выявить положение опасного сечения.

Зная изгибающий момент и расстояние до опасного сечения, которое находится на расстоянии l от вершины шипа в месте перехода его в диск, можно рассчитать изгибающий момент M_u в опасном сечении шипа:

$$M_u = P_u l = \frac{\beta \varphi l M_{кр}}{\varepsilon_1 R_{1ш}}. \quad (9)$$

Модуль сопротивления сечения рассчитывается в виде:

$$W = \frac{ba^2}{\zeta}, \quad (10)$$

где b – длина шипа; a – толщина шипа в опасном сечении; ζ – коэффициент, учитывающий форму профиля.

Допуская на изгиб шипа напряжение R_u получаем уравнение прочности шипа в виде:

$$M_u = WR_u \quad \text{или} \quad \frac{\beta \phi l M_{\text{кр}}}{\varepsilon_1 R_{\text{лш}}} l = \frac{ba^2}{\zeta} R_u. \quad (11)$$

Полученное уравнение является исходным для расчета крестово-фрикционной муфты сцепления на прочность, в нем учтены:

- степень перегрузки – коэффициент β ;
- степень точности обработки ϕ ;
- форма профиля – коэффициент ζ .

При выводе уравнений предполагается, что сила P_u равномерно распределена по грани шипа. Это верно только при сборке узла и начале его работы.

При больших по величине износах происходит приложении силы P_u под углом. Сечение углового излома наклонено под углом α к верхней грани шипа, изгибающий момент будет иметь следующий вид:

$$M_u = P_u l \cos \alpha, \quad (12)$$

Напряжения достигают максимума, при $\cos \alpha = 1$, когда $\alpha = 0$, то есть малых износах и, с повышением износов снижаются. Следовательно, если произошло быстрое смятие и износ поверхностей, то разрушение шипа не происходит.

Заключение

Для разработки методики и алгоритма диагностирования сцепления автомобиля, кроме знания закономерностей изменения параметров отдельных элементов, необходимо выполнить обобщенное или логическое описание его важных свойств в целом, включающее в себя перечень наиболее подверженных отказам элементов, соответствующие им структурные и диагностические параметры и связи между ними.

Литература

1. Лютин К.И. Вибродиагностика систем ДВС с использованием нейронных сетей. / К.И. Лютин, В.Е. Федянов // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2007. – Т. 2. – № 8 (34). – С. 88-90.
2. Андриенко Л.А Вибродиагностика технического состояния червячных передач по неравномерности вращения ведомого вала / Л.А Андриенко В.А Вязников // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2014. – № 1 (646). – С. 68-72.
3. Новиков А.Н. Вибродиагностика как способ определения технического состояния шаровых элементов подвески автомобиля / А.Н Новиков, А.А. Катунин, М.Д Тебекин // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 11. – С. 25-27.
4. Поезжаева Е.В. Вибродиагностика подшипников качения / Е.В Поезжаева, Р.И. Юртаев., В.А. Чудинов // Вестник науки и образования. – 2015. – № 5 (7). – С. 21-25.

5. Jacek Dybała. Vibrodiagnostics of gearboxes using NBV-based classifier: A pattern recognition approach. / Jacek Dybała // Mechanical Systems and Signal Processing – July 2013. –Volume 38. –Issue 1, 5. – P.P. 5-22.

6. Восстановление деталей автомобиля КАМАЗ / Р.А. Азаматов, В.Г. Дажин, А.Т. Кулаков, А.И. Модин. - Набережные Челны: КАМАЗ, 1994. – 215 с.

7. Восстановление деталей силового агрегата КАМАЗ-740.11-240 (EURO-1) / Р.А. Азаматов, А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, П.Г. Курдин. - Набережные Челны: КАМАЗтехобслуживание, 2007. – 307 с.

8. Макушин А.А Изнашивание и повреждение деталей маховика и механизма сцепления при эксплуатации / А.А. Макушин, Ш.С. Хуснетдинов // Механизация строительства. – 2014. – № 2 (836). – С. 29-31.

9. Макушин А.А. Влияние изменения конструктивных элементов сцепления в эксплуатации на работоспособность узлов силового агрегата и трансмиссии автомобилей КАМАЗ / Ш.С. Хуснетдинов, А.А. Макушин, Р.И. Гарипов // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: сб. статей междунар. науч.-техн. семинара. - Саратов, 2013. - с. 103-109.

10. Генкин М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М. Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение – 1987. – 288 с.

11. Малаховецкий А.А. Износы и образование дисбаланса в механизме сцепления автомобилей КАМАЗ / А.Т. Кулаков, А.А. Малаховецкий, А.А. Макушин, Ш.С. Хуснетдинов // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: сб. статей четвертой междунар. науч.-практ. конф. МНИЦ ПГСХА. - Пенза: РИО ПГСХА – 2011. – С.105-109.

Сведения об авторах:

Мухаметдинов Эдуард Мухаматзакиевич, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», Набережно-челнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет». Тел. 89272442165. E-mail: funte@mail.ru.

Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», Набережно-челнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет». Тел. 89274529179. E-mail: muhametdinoval@mail.ru.

Гарипов Равиль Ильдарович, аспирант кафедры сервиса транспортных систем, Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет». Тел.89179107836. E-mail: ravil_g@mail.ru.

Адрес университета: 423812 г. Набережные Челны, пр. Суюмбике, 10А.

НАДЕЖНОСТЬ ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЕЙ ВАЗ-2105 И ВАЗ-2107 В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Кандидат техн. наук, доцент **Денисов И.В.**

(Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. ВлГУ),
магистр **Смирнов А.А.**

RELIABILITY OF THE FRONT CAR SUSPENSION OF VAZ-2105, VAZ-2107 IN OPERATION

Denisov I.V., Ph.D. (Tech), Associate Professor

(Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs. VLSU),
Smirnov A.A., Master

Автомобиль, ВАЗ-2105, ВАЗ-2107, надежность, шаровая опора, передняя подвеска.

Car, VAZ-2105, VAZ-2107, reliability, spherical bearing, front suspension.

Представлены результаты исследования надежности нижних шаровых опор передней подвески автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107 в гарантийный период эксплуатации. Используя методы теории вероятностей и математической статистики, а также методику обработки экспериментальной информации, авторами проанализированы выборки дефектных деталей. Основными признаками неисправностей определены скрип шарового пальца и люфт шаровой опоры, сопровождаемый ее стуком. Установлено, что экспериментальное распределение отказов нижних шаровых опор подчиняется закону Вейбулла. Даны рекомендации по корректированию межсервисного интервала автотранспортных средств.

In this article, we present the results of a study of the reliability of the lower spherical bearings of the front suspension of VAZ-2105 and VAZ-2107 cars during the warranty period of operation. Using the methods of the theory of probability and mathematical statistics, as well as the method of processing experimental information, the authors analyzed samples of defective parts, the main signs of which were the creak of the ball pin and the backlash of the spherical bearing, accompanied by its knocking. It is established that the experimental distribution of failures of the lower spherical supports obeys the Weibull law. Recommendations for correcting the interservice interval of vehicles are given.

Введение

Двухрычажная подвеска автомобилей ВАЗ классического семейства имеет в конструкции шаровые опоры, обеспечивающие вертикальное перемещение и поворот управляемых колес во время движения, связывая верхний и нижний рычаги с поворотной цапфой.

Конструкция данных элементов представляет собой корпус с вкладышем, внутрь которого помещен палец, удерживаемый запорным кольцом или пружиной с заглушкой. В зависимости от воспринимаемых нагрузок шаровые опоры могут быть выполнены в двух вариантах: заливные конструкции и изделия с вкладышем из металлокерамики. Верхние рычаги имеют конструкцию первого типа, поскольку испытывают сжатие от веса автомобиля, а нижние – второго типа, ввиду того, что нагружены не только сжатием, но и растяжением.

В процессе эксплуатации транспортной машины на дорогах II-V категории в условиях умеренного климата данные элементы подвергаются влиянию постоянных знакопеременных нагрузок, причем наибольшее воздействие приходится на нижнюю шаровую опору. Следует отметить, что попадание в процессе движения автомобиля мелких и крупных абразивных частиц на защитный чехол детали (пыльник) приводит к повреждению его целостности вследствие износа. Это вызывает потерю герметичности пыльника и способствует проникновению дорожной пыли и влаги в контактную полость опоры, что приводит к вымыванию рабочей смаз-

ки и увеличению скорости изнашивания элементов конструкции. Данные факторы негативно сказываются на ресурсе шаровых шарниров и могут стать причиной рассоединения элементов подвески, что увеличивает риск возникновения аварийной ситуации и развития ее до ДТП по техническим причинам.

Постановка задачи исследования

Авторы настоящей публикации являлись свидетелями многократных отказов на дорогах общего пользования нижних шаровых опор передней подвески автомобилей ВАЗ-2105, ВАЗ-2107 и их модификаций, связанных с выбиванием пальца шарнира из посадочного места, что и послужило основанием для исследования надежности рассматриваемых элементов.

Для исключения вероятности возникновения линейного отказа шаровых опор в эксплуатации необходимо осуществлять диагностирование их технического состояния, проводя инструментальный контроль с использованием люфт-детекторов. Основанием для проведения технических воздействий по оценке работоспособности шаровых шарниров являются следующие признаки неисправностей:

- рысканье управляемых колес и увод транспортной машины с прямолинейной траектории движения, требующие от водителя постоянной коррекции курсового угла;
- скрип при повороте рулевого колеса;

- стук в передней подвеске во время движения при значительных люфтах в сопряжениях;
- неравномерный износ шин вследствие усиления эффекта Шимми.

Следует отметить, что надежность рассматриваемых элементов зависит не только от условий эксплуатации, но и качества их изготовления. Поэтому назначать контрольно-диагностические воздействия следует на основе результатов о фактическом эксплуатационном состоянии шаровых шарниров подвески и прогнозирования их остаточного ресурса, величина которого может быть значительно ниже межсервисного интервала. Для решения задачи обеспечения безотказности транспортных машин в эксплуатации необходимо проводить исследования надежности шаровых шарниров.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящей статье представлены результаты исследования надежности нижних шаровых опор передней подвески автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107 в гарантийный период эксплуатации. В ходе пассивного эксперимента в выборку с гарантийными дефектами различных деталей, узлов и агрегатов рассматриваемых автомобилей попали 4453 изделия [1], из них скрип шаровых опор имел 191 шарнир (4,3% от общего количества), а люфт, сопровождаемый стуком, наблюдался у 53 единиц (1,2% от общего количества неисправностей). При этом доля отказов рассматриваемых элементов в конструкции передней подвески составляет 92%.

В рамках научных исследований по оценке эксплуатационной надежности колесных транспортных машин был проведен литературный обзор, по результатам которого определены работы, посвященные анализу дефектов и определению показателей безотказности передней подвески автомобилей различных моделей и марок.

Так, в работах [2, 3] приводятся сведения о том, что доля неисправностей шарового шарнира рычага составляет 22,4% от общего количества отказов элементов системы передней подвески автомобиля ВАЗ-2170. Средняя наработка на отказ данного узла составляет 38,35 тыс. км.

Публикация [4] содержит информацию о доле отказов шаровых опор в ходовой части автомобиля ВАЗ 2112, которая составляет около 20,3% при средней наработке на отказ 45,5 тыс. км.

В диссертационном исследовании [5] установлено, что повторяемость отказа шаровой опоры в системе передней подвески автомобилей ВАЗ семейства «Самара» первого и второго поколений равняется 21,6%.

В статье [6] представлены сведения о надежности систем автотранспортных средств (АТС), эксплуатирующихся в г. Пенза и ее области. Авторами отмечается, что на долю передней подвески приходится 28,9% от общего числа отказов, причем количество неисправностей шаровых опор составляет 29,3%. Характерными дефектами шаровых опор являются разрушение полимерного элемента вследствие его износа и последующей пластической деформации (более 90% отказов), а также усталостное разрушение в зоне крепления шарнира к рычагу.

Авторы работы [7] отмечают, что ресурс шаровых шарниров легковых автомобилей, оснащенных подвеской типа «МакФерсон», находится в пределах

25 – 120 тыс. км. По их мнению, на столь значительную вариацию средних наработок на отказ влияют следующие факторы: качество дорожного покрытия, качество изготовления узла и режимы эксплуатации АТС.

Результаты эксплуатационных наблюдений, представленные в [8], позволяют сделать вывод, что к основным видам повреждений шаровых шарниров относятся: коррозия шарового пальца и корпуса шаровой опоры; абразивный износ шарового пальца и вкладыша шаровой опоры; деструкция вкладыша; деформация корпуса шаровой опоры и ее пальца. Повреждения пыльника опоры заключаются в растрескиваниях и разрывах корпуса, а также ослаблении его фиксации, что приводит к потере герметичности узла.

Таким образом, одним из элементов, лимитирующих надежность передней подвески автомобилей различных марок и моделей, является шаровая опора, что свидетельствует об актуальности настоящего исследования, выполненного по автомобилям ВАЗ классического семейства.

Массив наработок до отказа нижней шаровой опоры автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107 был проанализирован по методикам обработки статистической информации [9, 10]. Характеристики исследуемой выборки представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристики исследуемой выборки дефектов нижней шаровой опоры автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107

№ п/п	Параметр	Вид дефекта нижней шаровой опоры	
		Люфт	Скрип шарового пальца
1	Минимальное значение в выборке, тыс. км	0,2	0,12
2	Максимальное значение в выборке, тыс. км	12,6	22,1
3	Средняя наработка на отказ, тыс. км	5,6	6,2
4	Коэффициент вариации	0,57	0,74
5	Среднее квадратичное отклонение, тыс. км	3,2	4,5
6	Шаг интервала, тыс. км	1,9	2,55

Конечные результаты исследования, включающие следующие показатели: границы интервалов, $X_i \div X_k$, тыс. км; середины интервалов, $\bar{X}_i$, тыс. км; опытные частоты попадания в интервал, m_i^* ; относительной величины частоты, W_i ; теоретические вероятности попадания в интервал, P_i ; теоретические частоты попадания в интервал, m_i ; вероятности безотказной работы, $P(\bar{X}_i)$; вероятности отказа узла, $F(\bar{X}_i)$ и интенсивность отказов, $\lambda(\bar{X}_i)$, наглядно представлены для дефекта «Люфт шаровой опоры нижней» в табл. 2, а для дефекта «Скрип шарового пальца передней подвески» – в табл. 3.

Таблица 2.

**Результаты исследования эксплуатационной надежности шаровой опоры
передней подвески автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107 по дефекту «Люфт»**

№ п/п	Функция	Интервал						
		1	2	3	4	5	6	7
1	$X_i \div X_k$	0÷1,8	1,8÷3,8	3,8÷5,6	5,6÷7,6	7,6÷9,4	9,4÷11,4	11,4÷13,2
2	$\overline{X_i}$	0,9	2,8	4,7	6,6	8,5	10,4	12,3
3	m_i^*	4	14	10	8	7	9	1
4	W_i	0,076	0,264	0,189	0,151	0,132	0,169	0,019
5	P_i	0,089	0,205	0,235	0,198	0,135	0,076	0,037
6	m_i	4,74	10,89	12,46	10,53	7,16	4,06	1,95
7	$P(\overline{X_i})$	0,910	0,705	0,469	0,271	0,136	0,059	0,022
8	$F(\overline{X_i})$	0,090	0,295	0,531	0,729	0,864	0,941	0,978
9	$\lambda(\overline{X_i}) \cdot 10^{-5}$	0,711	1,486	2,200	2,858	3,562	4,299	5,080

Таблица 3.

**Результаты исследования эксплуатационной надежности шаровой опоры передней подвески
автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107 по дефекту «Скрип шарового пальца»**

№ п/п	Функция	Интервал								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$X_i \div X_k$	0÷2,6	2,6÷5,1	5,1÷7,6	7,6÷10,2	10,2÷12,8	12,8÷15,3	15,3÷17,9	17,9÷20,4	20,4÷23,0
2	$\overline{X_i}$	1,3	3,9	6,4	9,0	11,5	14,1	16,6	19,2	21,7
3	m_i^*	43	57	31	26	21	4	2	3	4
4	W_i	0,225	0,298	0,162	0,136	0,109	0,021	0,011	0,015	0,021
5	P_i	0,249	0,257	0,191	0,127	0,078	0,045	0,025	0,013	0,007
6	m_i	47,5	49,1	36,5	24,2	14,9	8,6	4,8	2,6	1,3
7	$P(\overline{X_i})$	0,751	0,494	0,303	0,176	0,098	0,052	0,027	0,013	0,006
8	$F(\overline{X_i})$	0,249	0,506	0,697	0,824	0,902	0,948	0,973	0,987	0,994
9	$\lambda(\overline{X_i}) \cdot 10^{-3}$	1,200	2,439	3,422	4,292	5,093	5,846	6,564	7,253	7,919

Таблица 4.

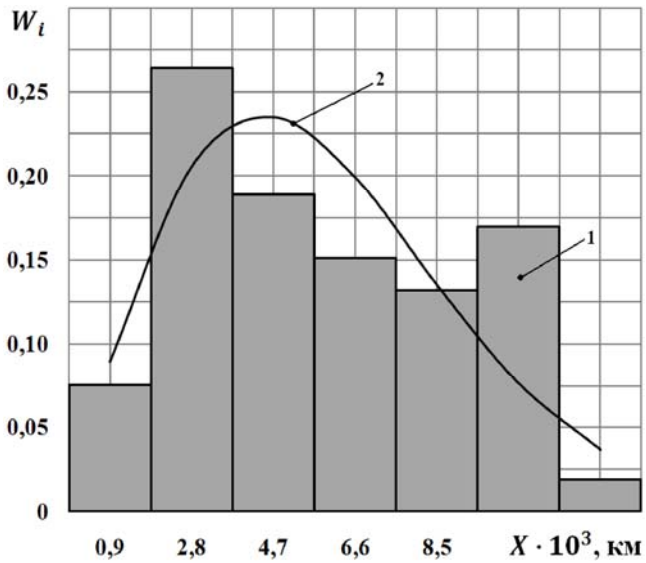
Результаты проверки гипотезы о принадлежности отказов нижних шаровых опор к закону Вейбулла

№ п/п	Параметр	Вид дефекта нижней шаровой опоры	
		Люфт	Скрип шарового пальца
1	Число степеней свободы, s	4	6
2	Расчетное значение критерия Пирсона, χ^2	8,58	9,37
3	Табличное значение критерия Пирсона, $\chi^2_{табл}$	9,49	12,59
4	Расчетное значение критерия Романовского, K_p	0,42	0,09

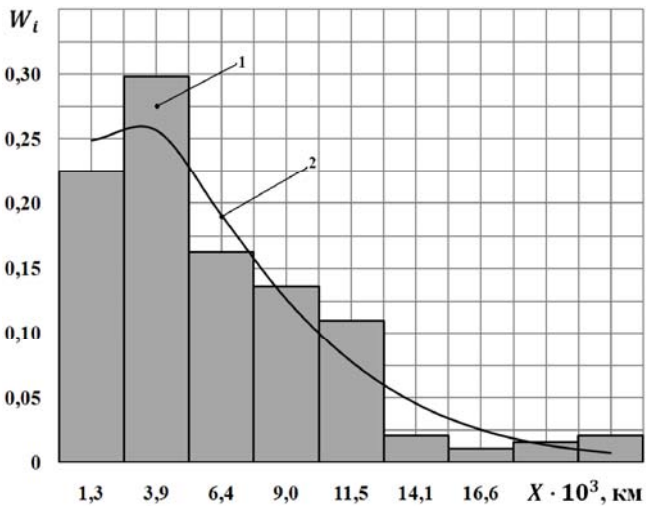
Таким образом, выполняются условия $\chi^2 < \chi^2_{табл}$ и $K_p < 3$, следовательно, гипотеза о принадлежности экспериментальных данных к закону распределения Вейбулла не отвергается.

Используя значения строк 7, 8 табл. 2, 3, установлены распределения вероятностей безотказной работы (1) и вероятностей отказа (2) люфта нижней шаровой опоры (рис. 2, А) и скрипа шарового пальца передней подвески (рис. 2, Б) автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107.

По данным строк 2, 4 табл. 2, 3 построены гистограммы распределения значений наработок, на которых фиксировался люфт нижней шаровой опоры (рис. 1, А) и скрип шарового пальца передней подвески (рис. 1, Б) автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107.



А

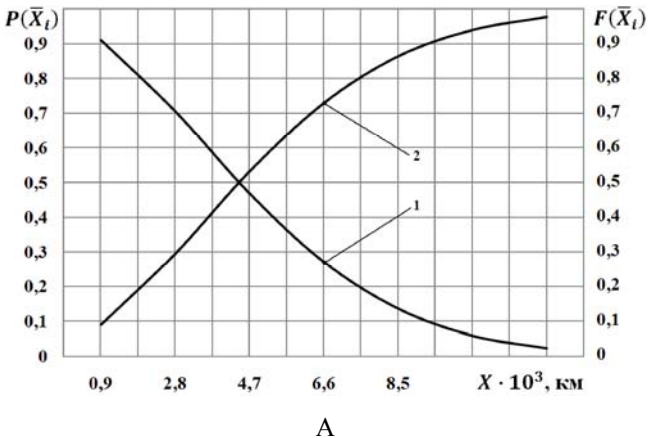


Б

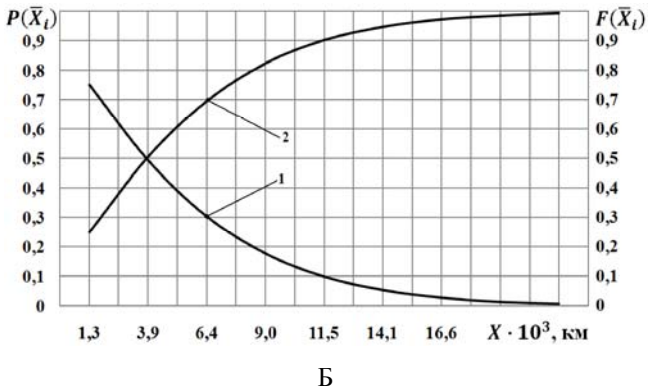
Рис. 1. Гистограммы распределения значений наработок (1), на которых зафиксированы:
А – люфт нижней шаровой опоры передней подвески;
Б – скрип шарового пальца передней подвески автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107, и сглаживающие кривые закона Вейбулла (2)

По характеру гистограмм выдвинуты гипотезы о принадлежности рассматриваемых отказов шаровых опор к закону Вейбулла. На основании сведений строки 5 табл. 2, 3 наложены сглаживающие теоретические кривые.

Результаты проверки гипотезы о принадлежности рассматриваемых отказов шаровых опор к закону Вейбулла, при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$, представлены в табл. 4.



А



Б

Рис. 2. Графики вероятностей безотказной работы (1) и отказа (2):
А – нижней шаровой опоры; Б – шарового пальца передней подвески автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107 по наработке

По данным строк 9 табл. 2, 3 построены номограммы зависимости интенсивности возникновения люфта нижней шаровой опоры (рис. 3, А) и скрипа шарового пальца (рис. 3, Б) передней подвески автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107 по наработке.

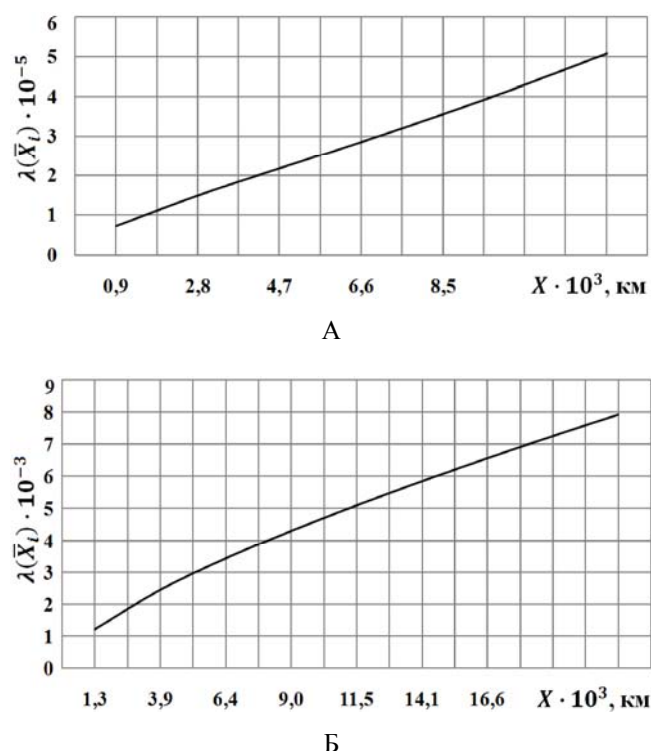


Рис. 3. Распределения интенсивности возникновения:
А – люфта нижней шаровой опоры; Б – скрипа шарового пальца передней подвески автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107 по наработке

Заключение

По результатам проведенного исследования рассчитаны показатели надежности нижней шаровой опоры передней подвески автомобилей ВАЗ-2105 и ВАЗ-2107, а также установлены теоретические законы распределения наработок до отказа по двум дефектам. Гипотеза о принадлежности опытных данных закону Вейбулла не отвергается, так как расчетные значения критерия согласия Пирсона удовлетворяют табличным значениям, а значение критерия Романовского меньше трех.

Таким образом, величины средних наработок до отказа нижней шаровой опоры передней подвески классических автомобилей ВАЗ ограничивают межсервисный интервал, сокращая его вдвое. Следует отметить, что полученные результаты свидетельствуют о низком качестве рассматриваемых изделий, поступавших на главный сборочный конвейер завода-производителя. Предприятиям автомобильного сервиса необходимо использовать данную информацию при выполнении планового технического обслуживания и назначения диагностических воздействий.

Литература

1. Денисов И.В., Смирнов А.А. Надёжность автомобилей в гарантийный период их эксплуатации // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 11. – С. 1-4.

2. Денисов И.В., Денисов И.В. Методика определения общей вероятности безотказной работы технических систем автомобиля (на примере передней подвески ВАЗ-2170) // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 19. – С. 1425-1429.

3. Денисов И.В., Денисов И.В. Результаты исследования эксплуатационной надежности элементов передней подвески автомобиля ВАЗ-21703-01-018 / И.В. Денисов, И.В. Денисов // Проблемы функционирования систем транспорта: мат. межд. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 150-154.

4. Юсупова О.В., Булатов С.В. Определение зависимости затрат на запасные части автомобилей ВАЗ от сроков эксплуатации // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 4. – С. 148-153.

5. Савельев В.В. Совершенствование сервиса машин индивидуального пользования интенсификацией профилактической стратегии (на примере переднеприводных автомобилей ВАЗ): автореф. дисс...канд. техн. наук: 05.02.13 / Владимир Викторович Савельев. – Саратов, 2004. – 20 с.

6. Родионов Ю.В., Войнов А.А. Анализ причин отказов шаровых опор легковых автомобилей // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 4. – С. 79-83.

7. Тебекин М.Д., Катунин А.А., Новиков А.Н. Технология диагностирования шаровых шарниров легковых автомобилей с помощью вибрационного способа // Информационные технологии и инновации на транспорте. Мат. 2-ой межд. науч.-практ. конф. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2016. – С. 185-190.

8. Радченко С.Ю., Новиков А.Н., Катунин А.А., Тебекин М.Д. Анализ видов повреждений шаровых шарниров // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 1(36). – С. 8-14.

9. Баженов Ю.В. Основы теории надежности машин. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 160 с. – ISBN 5-89368-655-1.

10. Моделирование производственных процессов автомобильного транспорта // сост. С.И. Коновалов, С.А. Максимов, В.В. Савин. – Владимир: Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2005. – 244 с.

Сведения об авторах:

Денисов Илья Владимирович. Место работы - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), доцент на кафедре «Автомобильный транспорт». Адрес:

600000, г. Владимир, ул. Белоконской, д. 3, корпус 2, ауд. 315-2.

Тел.: 8(915)-776-24-14,
e-mail: denisoviv@mail.ru.

Смирнов Алексей Александрович. Место работы – «GRAND-мебель».

601914, Владимирская обл., г. Ковров, ул. Комсомольская, д. 24.

Тел.: 8(920)622-15-21,
e-mail: AlexiFoX@yandex.ru.

СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ РАБОТ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И ТЕКУЩЕМ РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Доктор техн. наук, профессор **Макарова И.В.**,
(ФГАОУ ВО Казанский Федеральный университет, Набережные Челны)
кандидат техн. наук, доцент **Мухаметдинов Э.М.**,
(ФГАОУ ВО Казанский Федеральный университет, Набережные Челны),
кандидат техн. наук, доцент **Габсалихова Л.М.**,
(ФГАОУ ВО Казанский Федеральный университет, Набережные Челны),
Капитонов А.А.

(Конструкторско - технологический отдел качества проектирования продукта и технологий.
ПАО «КАМАЗ»)

SYSTEM FOR PLANNING AND CONTROL OF THE WORKS DURING TECHNICAL MAINTENANCE OF THE AUTOMOTIVE VEHICLES

Makarova I.V., Doctor (Tech.), Professor,
(Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny),
Mukhametdinov E.M., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
(Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny),
Gabsalikhova L.M., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
(Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny),
Kapitonov A.A.

(Technological Department for Product and Technology Design Quality.
PJSC "KAMAZ")

Контракт жизненного цикла, техническое обслуживание и ремонт, автомобильная техника, метод планирования.

Life Cycle Contract, technical maintenance and repair, automotive vehicles, planning method.

Предлагается метод перспективного планирования технического обслуживания и ремонта автомобильной техники при заключении контракта жизненного цикла. Выделены источники данных для перспективного планирования технического обслуживания и ремонта. Для осуществления планирования предлагается использовать метод экстраполяции текущих значений показателей технического состояния на будущие периоды, с учетом условий и режима эксплуатации изделия.

In article the method of advance planning of technical maintenance and repair of automotive vehicles at signing of the contract of life cycle is offered. Data sources for advance planning of technical maintenance and repair are allocated. For implementation of planning it is offered to use a method of extrapolation of the current values of indicators of technical condition for future periods, taking into account conditions and the mode of operation of a product.

Введение

Одной из важнейших проблем, стоящих перед автомобильным транспортом, является повышение надежности автомобильной техники (АТ). Решение этой проблемы, с одной стороны, обеспечивается автомобильной промышленностью за счет выпуска более надежных автомобилей и их деталей, с другой – совершенствованием методов технической эксплуатации автомобилей.

Классические подходы, при которых производитель автомобилей обеспечивает гарантийный ремонт неограниченное число раз за год, а эксплуатирующая организация содержит службы материально-технического обеспечения и ремонта для всего многообразия имеющегося парка, под любые рода задачи не гарантийного характера более не приемлемы и являются недостаточными эффективными.

В современных условиях при необходимости сокращения затрат, повышении эффективности производи-

тель вынужден трансформировать выполнение гарантийных обязательств в обязательства не по восстановлению автомобиля, а в обязательства по обеспечению работоспособности автомобиля.

Механизмом обеспечения указанных потребностей является контракт жизненного цикла, предметом которого является коэффициент технической готовности парка, что обеспечивает разумное соотношения средств ремонтно-восстановительных органов и складских запасов у владельца парка и объемов работ, переданных исполнителю контракта.

Анализ существующих решений задач по организации технического обслуживания и текущего ремонта автомобильной техники

На сегодняшний день одним из основных решений, реализующим функционал управления ремонтами, является программный продукт «1С:ТОИР Управление ремонтами и обслуживанием оборудования 2 КОРП» [1].

Решение «1С:ТОИР Управление ремонтами и обслуживанием оборудования 2 КОРП» предназначено для организации системы управления ремонтами и обслуживанием оборудования на предприятиях различных отраслей экономики, в том числе с учетом требований стандарта ISO 55000 по управлению активами. Решение относится к классу систем управления основными фондами и активами предприятия промышленной. Базовой целью формирования план-графиков планово-предупредительных ремонтов оборудования служит обеспечение надлежащей сохранности оборудования в перспективный период, то есть поддержание нормативного уровня его технического состояния и работоспособности. На основании базовой цели формируются конкретные целевые ориентиры и показатели, обосновываются и решаются важнейшие задачи по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р) оборудования. Из других систем, поддерживающих функционал управления ремонтами, можно выделить: «1С:ERP Управление предприятием 2» [2]; КИС «Галактика ERP» [3]. В целом, данные системы имеют сходный функционал управления ремонтами, что говорит об определенном сложившемся стандарте, типовых решениях задачи управления ремонтами на предприятиях промышленности. Опыт разработки, внедрения и эксплуатации указанных систем имеет высокие перспективы быть использованным при разработке информационной системы, обеспечивающей процессы ТО и Р.

В автомобильной отрасли контракт жизненного цикла предполагает приобретение автомобилей на срок его жизненного цикла, при этом поставщик отвечает за полное или частичное обслуживание в течение этого времени.

Материалы, изложенные в статье [4], показывают, что использование модели контракта жизненного цикла в рамках договоров поставки и обслуживания подвижного состава общественного транспорта позволяет обеспечить город транспортными средствами нового поколения с повышенным комфортом и безопасностью, получить дополнительные гарантии надежности и соблюдения графика движения, сохранить высокие потребительские свойства подвижного состава на протяжении всего срока его эксплуатации.

Работы [5, 6, 7, 8] посвящены решениям вопросов контракта жизненного цикла для предприятий, входящих в оборонно-промышленный комплекс страны. В работе [7] аргументируется возможность повышения эффективности выполнения заданий государственного оборонного заказа. В работе [8] представлена методика решения задачи определения эффективности распределения работ между Исполнителем и ремонтно-восстановительными органами Министерства обороны РФ с позиции трех основных аспектов: результативности, оперативности и ресурсоемкости.

Для совершенствования параметров системы эксплуатации конкретных типов изделий предлагается частная методика совместной оптимизации полноты контроля и сроков технического освидетельствования изделий. Методика позволяет рассчитать объем проверок для каждого вида контроля в зависимости от уровня безотказности каждого уровня выделенной иерархической структуры объекта контроля и в комплексе

обосновать полноту и периодичность каждого из видов контроля [9]. В научной статье [10] показаны основы применения программного моделирования в системе AnyLogic при организации и проектировании станций технического обслуживания автомобильного парка, а так же описание перспективных возможностей внедрения этой технологии в реальное производство.

Контракт жизненного цикла хорошо зарекомендовал себя в зарубежной практике, в эксплуатации железнодорожного подвижного состава в России. Он позволяет заказчику переложить все риски на сторону, сконцентрироваться лишь на основных параметрах объекта и контроле достижения заданных целевых параметров.

Порядок планирования технического обслуживания и ремонта автомобильной техники

В методике планирования технического обслуживания и ремонта АТ предполагается осуществить реализацию перспективного планирования, позволяющего формировать на заданный горизонт планирования план-график технического обслуживания и ремонта АТ, который позволит спрогнозировать и оценить объемы возможных сервисных и ремонтных работ, исходя из прогнозируемого технического состояния парка АТ.

Источники данных для перспективного планирования технического обслуживания и ремонта АТ

Методологически перспективное планирование технического обслуживания и ремонта АТ сходно с прогнозированием технического состояния, поэтому состав источников данных во многом аналогичен:

- перспективный план эксплуатации АТ;
- текущие значения показателей наработки образцов АТ и их составных частей;
- ресурс по наработке до определенного технического воздействия;
- планируемая наработка за определенный период, установленная изготовителем АТ для эталонной группы эксплуатации;
- коэффициент, отражающий интенсивность увеличения наработки при использовании в прочих категориях (группах) эксплуатации;
- сезонные коэффициенты, влияющие на интенсивность эксплуатации;
- вероятность оказания внеплановых технических воздействий на АТ;
- данные средств объективного контроля при их наличии.

Перспективный план эксплуатации АТ позволяет определить состав и объем парка АТ, задействованного в процессе перспективного планирования, категории (группы) эксплуатации образцов АТ на протяжении планируемого периода.

Текущие значения показателей наработки образцов АТ и их составных частей будут вводиться в систему, обеспечивающую информационное сопровождение процессов технического обслуживания и ремонта АТ, с помощью специализированных документов либо вручную, по итогам снятия показаний с бортовых приборов регистрации (см. рисунок), либо автоматически, путем интеграции с системой объективного контроля (СОК).

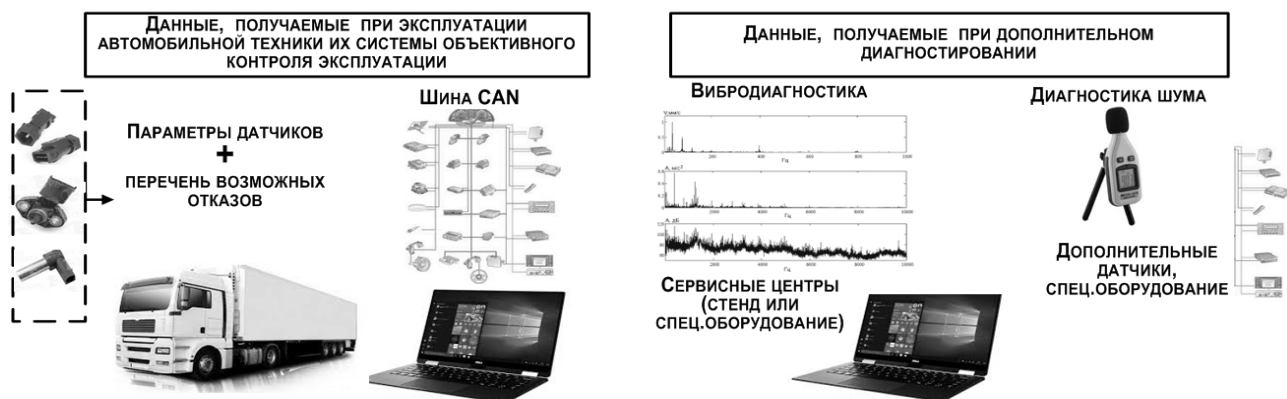


Рисунок. Сбор данных о фактическом состоянии автомобильной техники

Ресурс по наработке до определенного технического воздействия связывает значения показателей наработки с видами технических воздействий на изделия АТ, рекомендуемых производителем к осуществлению. Относится к нормативно-справочной информации конструкторско-технологического характера.

Планируемая наработка за определенный период определяется изготовителем АТ на основе статистических данных для определенной эталонной категории (группы) эксплуатации, и указывается в соответствующей конструкторско-технологической документации. В систему, обеспечивающую информационное сопровождение процессов технического обслуживания и ремонта АТ, передается посредством интеграции с системой интегрированной логистической поддержки (ИЛП).

Коэффициенты, отражающие интенсивность увеличения наработки при использовании АТ в прочих категориях (группах) эксплуатации, сезонные коэффициенты, а также значения вероятности осуществления внеплановых технических воздействий, относятся к нормативно-справочной информации хозяйственно-экономического характера.

Нормативно-правовая база и регламент ведения указанных источников данных должны быть разработаны и утверждены исполнителем и заказчиком контракта на сопровождение жизненного цикла АТ в соответствии с законодательством РФ.

Метод перспективного планирования технического обслуживания и ремонта АТ

Для осуществления перспективного планирования технического обслуживания и ремонта АТ предлагается использовать метод экстраполяции текущих значений показателей технического состояния на будущие периоды, с учетом влияющих факторов, то есть, с учетом условий и режима эксплуатации изделия.

Метод перспективного планирования технического обслуживания и ремонта образцов АТ и их составных частей можно условно разделить на три этапа:

- определение текущих значений наработки;
- определение периода, когда прогнозируемое значение наработки будет находиться в интервале значений ресурса:
 - а) где техническое воздействие рекомендуется, но не обязательно;
 - б) где техническое воздействие обязательно;
- следующая итерация предыдущего этапа, стартующая от рассчитанных прогнозных значений

наработки и периода.

Метод перспективного планирования технического обслуживания и ремонта, предлагаемый к реализации в системе, предполагает определенную опциональность – более жесткий подход к планированию, когда технические воздействия на АТ и их составные части планируются в рекомендательный, но не обязательный интервал осуществления, либо более мягкий, когда технические воздействия на АТ и их составные части планируются только тогда, когда воздействие обязательно.

Этап 1. Определение текущих значений наработки

Определяется фактическое текущее значение показателя наработки – определение значения из источника данных «значение показателей наработки образцов АТ и их составных частей», получаемое с бортовых приборов регистрации или посредством системы объективного контроля (СОК). Таким образом, определяются текущие значения показателя наработки по образцу АТ или составной части АТ, в случае ведения обособленного учета наработки и технических воздействий.

Введем обозначения:

A_{ij} – предыдущее (ранее зарегистрированное)

значение показателя наработки i по изделию j ;

A'_{ij} – текущее фактическое значение показателя наработки i по изделию j ;

$\Delta A_{ij} = A'_{ij} - A_{ij}$ – это изменения значения наработки i по изделию j с момента предыдущей регистрации наработки;

R_{ik} – регламентированное изготовителем АТ значение показателя наработки i , при котором необходимо осуществление вида технических воздействий k ;

C_j – сводный корректирующий коэффициент по изделию j , отражающий интенсивность расхода ресурса узлов и агрегатов в зависимости от условий эксплуатации, состоит из нескольких множителей ($C_j = C_{j1} * C_{j2} * \dots$, где C_{j1} – коэффициент категорий эксплуатации, C_{j2} – сезонный коэффициент, и т.д.);

B_{ijk} – ранее рассчитанное значение наработки i по изделию j , остающееся (без учета корректирующих коэффициентов) до вида регламентированных технических воздействий k ;

B'_{ijk} – текущее значение наработки i по изделию j , остающееся (без учета корректирующих коэффициентов) до вида регламентированных технических воздействий k ; на данном этапе производится расчет этого значения следующим образом:

$$B'_{ijk} = R_{ik} - \Delta A_{ij} * C_j, \text{ если } A_{ij} = 0, \quad (1)$$

или

$$B'_{ijk} = B_{ijk} - \Delta A_{ij} * C_j, \text{ если } A_{ij} \neq 0. \quad (2)$$

Этап 2.

На этом этапе производится прогнозное увеличение наработки с интенсивностью, определяемой:

- установленной изготовителем для эталонной группы эксплуатации величины наработки, накапливаемой за определённый период (квант) времени;
- коэффициентом, отражающим интенсивность увеличения наработки при использовании в прочих категориях (группах) эксплуатации;
- сезонными коэффициентами, влияющими на интенсивность эксплуатации.

На оси времени, начиная от значений наработки, полученных на предыдущем шаге, определяются (по мере сдвига даты к более поздним срокам) периоды, в которых прогнозируемое значение наработки попадает в один из интервалов значений ресурса:

- а) интервал значений, где техническое воздействие рекомендуется, но не обязательно;
- б) интервал значений, где техническое воздействие обязательно.

Выбор интервала зависит от выбора соответствующих опций перспективного планирования, предлагаемых к реализации в функционале системы, обеспечивающей информационное сопровождение процессов технического обслуживания и ремонта АТ.

Другая предлагаемая опциональность заключается в том, на какую часть рассчитанного периода будет планироваться осуществление технических воздействий:

- на начало периода;
- на середину периода;
- на конец периода.

Учитывая предполагаемую минимальную дискретность периода перспективного планирования – календарный месяц, в случаях, когда производится интенсивная эксплуатация образцов АТ или их составных частей, возможны ситуации, где выбор данной опции не будет иметь смысла. В других случаях выбор опции зависит от принятой стратегии планирования, что может быть регламентировано соответствующими организационно-распорядительными документами исполнителя контракта на сопровождение жизненного цикла АТ.

Введем обозначения:

L – период планирования (горизонт планирования), представляющий из себя вектор значений l ;

P_{ijl} – планируемое увеличение наработки i по изделию j в периоде l (т.е. план эксплуатации);

F_{ijk} – пороговое значение наработки i по изделию j для вида технических воздействий k , отражающее

допустимый интервал, когда рекомендуется осуществление воздействий (задается изготовителем АТ в сервисной книжке, например, для автомобилей КАМАЗ экологического уровня Е-2 для ТО-15000 по пробегу это значение 15000 км, т.е. ТО допускается проводить в интервале от 13500 до 16500 км);

D_{ijkl} – прогнозное значение оставшейся наработки i по изделию j до регламентного технического воздействия k в планируемом периоде l ; на текущем этапе производится расчет этого значения следующим образом:

$$D_{ijkl} = B'_{ijk} - P_{ijl} * C_j, \quad (3)$$

полученное значение D_{ijkl} анализируется, и если

$$D_{ijkl} \leq F_{ijk}, \quad (4)$$

то осуществляется планирование воздействия k на период l по изделию j .

Таким образом, по результатам выполнения данного этапа перспективного планирования будут определены:

- период l , на который запланировано техническое воздействие;
- прогнозный показатель наработки в данном периоде D_{ijkl} .

Этап 3.

На данном этапе данные, полученные на предыдущем этапе – период, на который и запланировано техническое воздействие, и прогнозный показатель наработки в этом периоде, используются как исходные данные для повторения второго этапа – расчета нового периода, на который нужно запланировать следующее техническое воздействие, и прогнозного значения наработки в нем.

$$D_{ijkl+1} = D_{ijkl} - P_{ijl+1} * C_j. \quad (5)$$

Этот этап повторяется до тех пор, пока не будет достигнут горизонт планирования.

Предложенный метод работает обособленно и параллельно:

- для каждого образца АТ или его составной части;
- по каждому показателю наработки;
- по каждой группе видов технических воздействий (взаимоисключающие технические воздействия, т.е. если проведение одного воздействия исключает проведение другого, оно становится возможным лишь по достижении следующего рубежа по наработке).

Заключение

Предложенный метод перспективного планирования технического обслуживания и ремонта позволит не допустить возникновения отказов в период перед проведением плановых ТО. Для этого, согласно разработанной методике, проведение ТО смещают на границу возникновения отказов.

Система, обеспечивающая информационное обеспечение процессов сопровождения АТ предоставляет механизм обратной связи. В электронных делах изделий АТ будет накапливаться полная информация о процессе эксплуатации изделия, в том числе, о неисправностях,

выходах из строя тех или иных деталей и агрегатов. Разработчик и изготовитель получают возможность анализа этой статистики для принятия организационного, конструкторского или технологического решения. А именно, об изменении конструкции, или предъявлении претензий поставщику покупного комплектующего изделия.

Данный механизм позволяет выявить факторы, способствующие снижению значения КТГ, и, повлияв на них, добиться повышения КТГ до требуемого уровня.

Каждый из участников процесса сопровождения АТ будет вести и оперативно получать требуемую информацию. Эксплуатирующая организация сможет оценить состояние и ресурс каждого образца АТ, сервисная организация получит доступ к ремонтной документации при проведении ТО и Р, изготовитель сможет собирать статистику по ремонтам.

Литература

1. 1С: предприятие. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/eam2> (дата обращения: 22.10.2018)
2. 1С:ERP УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ 2 URL: <http://v8.1c.ru/erp/> (дата обращения: 22.10.2018)
3. Галактика URL:ERP <https://www.galaktika.ru/erp> (дата обращения: 25.10.2018)
4. Тургенева В.В., Секерин В.Д. Контракт жизненного цикла в сфере транспортной инфраструктуры как новый механизм государственно-частного партнерства / МИР (МОДЕРНИЗАЦИЯ. ИННОВАЦИИ. РАЗВИТИЕ). – 2017. – Том: 8 – № 4 (32). – С.536-543.
5. Кузнецова В.Б. Наукоемкое производство: стратегия оптимизации затрат эксплуатанта / В.Б. Кузнецова, А.И. Сердюк, А.И. Сергеев, Д.В. Кондусов. // Интеллект. Инновации. Инвестиции – 2016 – № 4. – С. 89-93.
6. Николаев А.Е. Правовые аспекты реализации контрактов жизненного цикла для вооружения, военной и специальной техники. / Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 10-2 (63). – С. 580-583.
7. Кандыбко Н.В. Контракт жизненного цикла на вооружение и военную технику как инструмент реализации государственно-частного партнерства в оборонно-промышленном комплексе / Военная мысль. – 2018. – № 5. – С. 57-64.
8. Заяц Ю.А., Сальников А.В., Гумеров И.Ф. Оценка эффективности распределения работ в рамках государственного контракта по сопровождению жизненного цикла военной автомобильной техники / Ю.А. Заяц, А.В. Сальников, И.Ф. Гумеров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 12-2. – С. 399-410.

9. Медведев В.М Развитие концепции эксплуатации изделий / В.М. Медведев., В.И. Мищенко., Н.Г. Солоха // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008. – № 4 (85). – С. 149-157.

10. Власов А.О. Информационный подход к мониторингу технического состояния транспортных средств / А.О. Власов, Н.Е. Коледов, Т.М. Заяц, Ю.А. Заяц // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2014. – № 1. – С. 86-88.

Сведения об авторах:

Макарова Ирина Викторовна, профессор кафедры «Сервис транспортных систем», Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», пр. Сююмбике, 10А, г. Набережные Челны, 423812.

Тел. 8927247141.

Мухаметдинов Эдуард Мухаматзакиевич, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», пр. Сююмбике, 10А, г. Набережные Челны, 423812.

Тел. 89272442165.

E-mail: funte@mail.ru.

Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», пр. Сююмбике, 10А, г. Набережные Челны, 423812.

Тел. 89274529179.

E-mail: muhametdinoval@mail.ru.

Капитонов Александр Александрович, начальник конструкторско - технологического отдела качества проектирования продукта и технологий, ПАО «КАМАЗ». Адрес: Транспортный проезд, 70, г. Набережные Челны.

Тел. 8(8552) 33-28-10.

E-mail: aleksandr.kapitonov@kamaz.ru.

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ЗАДЕРЖКИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА М.ДЖ. БЭКМАННА

Антониади Г.Д.

(Администрация Прикубанского внутригородского округа г. Краснодара),

Архипов В.О.

(Департамент транспорта и дорожного хозяйства
администрации муниципального образования г. Краснодар),

кандидат техн. наук, доцент Цуприков А.А.

(Кубанский государственный технологический университет)

ANALYSIS OF BECKMANN MODEL OF DELAYS OF MOTOR TRANSPORT

Antoniadi G.D.

(Administration of the Prikubansky Inner City District of the City of Krasnodar),

Arkhipov V.O.

(Department of Transport and Road Management of the Administration
of the Municipal Formation of the City of Krasnodar),

Tsouprikov A.A., Ph.D. (Tech.), Associate Professor

(Kuban State Technological University)

*Автомобильный транспорт, модель задержки проезда, Бэкманн, светофор, очередь, перекрёсток.**Motor Transport, model of the delay of travel, Beckmann, traffic lights, turn, crossroad.*

Рассмотрена модель задержки автотранспорта на регулируемом перекрёстке М.Дж. Бэкманна, проанализирован физический смысл составляющих модели, определена значимость параметров, их вклад в величину задержки транспорта с образованием очереди. Проанализированы недостатки модели при её использовании для управления сигналами светофора.

Beckmann model of delays of motor transport at the regulated crossroads is considered. Beckmann, analyzed the physical meaning of the components of the model, determined the importance of the parameters, their contribution to the value of transport delays with the formation of the queue. The disadvantages of the model when it is used to control traffic signals are analyzed.

Для описания задержки автотранспорта перед перекрёстком при светофорном регулировании движения разработано несколько математических моделей, которые можно разделить на две группы:

- «точные» модели, описывающие текущую ситуацию на дороге в данный момент времени (модели М.Дж. Бэкманна, Дж.Н. Дарроча, В.Р. МакНейла и др.) [1-4];
- для стационарных условий движения с аппроксимацией к реальной ситуации на дороге (модели Ф.В. Вебстера, А.Дж. Миллера, Дж.Ф. Ньюелла и др.) [5-7].

Впервые «точная» модель оценки средней задержки транспортных средств (ТС) при жестком светофорном регулировании была разработана М.Дж. Бэкманном. В ней принят биномиальный характер прибытия ТС к перекрёстку и детерминированный характер регулирования сигналов светофора [1]:

$$d = \frac{c - g}{c(1 - q/s)} \left[\frac{q_0}{q} + \frac{c - g + 1}{2} \right] \quad (1)$$

где c – длина цикла регулирования, с;

g – эффективная длительность зеленого сигнала, с;

q – интенсивность прибытия ТС, авт./с;

s – интенсивность разъезда из очереди, авт./с;

q_0 – величина остаточной очереди, авт.

Целью исследования является анализ модели М.Дж. Бэкманна с позиции физического смысла её составляющих, определение значимости (веса, количествен-

ного вклада) каждого параметра в величину задержки транспорта с образованием очереди, анализ недостатков модели при её использовании для управления сигналами светофора.

Модель относится к группе «точных», показывает время задержки любого автомобиля в очереди. Примем, что модель описывает состояние регулируемого перекрёстка на интервале времени в 1 с, тогда интенсивность движения ТС, как количество автомобилей в секунду будет соответствовать просто числу машин.

Первая составляющая – это отношение запрещающего сигнала светофора ($c - q$) ко времени цикла c , за которое на стоп-линии задерживается $(1 - q/s)$ ТС. Выражение q/s показывает интенсивность прибытия ТС q по сравнению с интенсивностью их разъезда s . В односекундном интервале это отношение количества прибывших машин к числу разъехавшихся, т.е. доля прибывших машин в числе разъехавшихся. Выражение $(1 - q/s)$ – это число не успевших разъехаться за секунду автомобилей перед перекрёстком, а $c(1 - q/s)$ даёт время в полном цикле c , за которое автомобили не успели разъехаться и образовали очередь. Таким образом, первая дробь показывает относительное время запрещающего сигнала светофора, но не к полному времени цикла c , а к его части, за которое образуется очередь из q_0 машин.

Выражение q_0/q показывает время относительного увеличения машин в очереди, возникающей при интенсивности прибытия q , а дробь $(c - g + 1)/2$ – это поправочный коэффициент в виде половины длительности запрещающего сигнала, увеличенного на 1.

В практике дорожного движения часто встречается следующий режим проезда перекрёстка: время цикла $c = 240$ с, машины постоянно прибывают с интенсивностью 2 авт/с, за время зелёного сигнала успевает разъехаться 3 авт/с, в очереди остаётся около 30 машин. В таблице 1 рассчитано время задержки в очереди ТС при времени полного цикла регулирования сигналов светофора в 240 с.

Таблица 1

Время задержки d при малых q и s

d , сек	c , сек	g , сек	$c-g$, сек	q , авт/сек	s , авт/сек	q_0 , авт
0,00	240	240	0	2	3	30
3,23	240	228	12	2	3	30
8,25	240	216	24	2	3	30
15,08	240	204	36	2	3	30
23,70	240	192	48	2	3	30
34,13	240	180	60	2	3	30
46,35	240	168	72	2	3	30
60,38	240	156	84	2	3	30
76,20	240	144	96	2	3	30
93,83	240	132	108	2	3	30
113,25	240	120	120	2	3	30
134,48	240	108	132	2	3	30
157,50	240	96	144	2	3	30
182,33	240	84	156	2	3	30
208,95	240	72	168	2	3	30
237,38	240	60	180	2	3	30
267,60	240	48	192	2	3	30
299,63	240	36	204	2	3	30
333,45	240	24	216	2	3	30
369,08	240	12	228	2	3	30

Время цикла $c = 240$ с считается оптимальным для равносided перекрёстка (с одинаковым числом полос движения), в котором время красного (в него включено время жёлтого сигнала) и зелёного сигналов одинаковы и равны по 120 с. Это связано с тем, что при длительности запрещающего сигнала больше, чем 2 мин. водители (в часы пик) часто считают, что светофор вышел из строя и начинают движение на красный свет.

График функции задержки ТС от времени, построенный по данным таблицы 1, приведён на рис. 1.

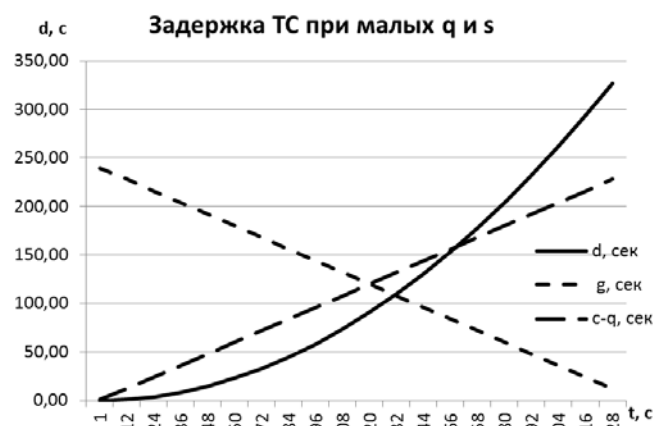


Рис. 1. Зависимость времени задержки ТС от сигналов светофора

График показывает, что при увеличении длительности запрещающего сигнала светофора и уменьшении

разрешающего время задержки транспорта увеличивается по степенному закону.

Модель имеет следующие недостатки:

1. Для работы модели интенсивность разъезда s всегда должна быть больше интенсивности прибытия q , иначе задержка d становится отрицательной. На практике количество прибывающих автомобилей может быть больше разъезжающихся во время зелёного сигнала, что является причиной образования очереди.

2. Количественные значения q и s не влияют на d , они могут быть большими (200 и 300) или маленькими (2 и 3), главное – их отношение должно быть меньше 1, а реальная интенсивность прибытия ТС к перекрёстку и их разъезда для модели не существенны, величина задержки d и её график практически не меняется – см. табл. 2 и рис. 2.

3. Очередь q_0 очень слабо влияет на задержку, например, изменение q_0 с 10 до 100, т.е. в 10 раз (на 1000%) приводит к изменению d с 364,50 до 391,50 т.е. на 27 с или на 0,06%.

Таким образом, модель Бэкманна не является универсальной и пригодна только для описания частных ситуаций движения ТС через перекрёсток.

Таблица 2

Время задержки d при больших q и s

d , сек	c , сек	g , сек	$c-g$, сек	q , авт/сек	s , авт/сек	q_0 , авт
0,01	240	239	1	200	300	30
1,00	240	228	12	200	300	30
3,80	240	216	24	200	300	30
8,39	240	204	36	200	300	30
14,79	240	192	48	200	300	30
22,99	240	180	60	200	300	30
32,99	240	168	72	200	300	30
44,78	240	156	84	200	300	30
58,38	240	144	96	200	300	30
73,78	240	132	108	200	300	30
90,98	240	120	120	200	300	30
109,97	240	108	132	200	300	30
130,77	240	96	144	200	300	30
153,37	240	84	156	200	300	30
177,77	240	72	168	200	300	30
203,96	240	60	180	200	300	30
231,96	240	48	192	200	300	30
261,76	240	36	204	200	300	30
293,36	240	24	216	200	300	30
326,75	240	12	228	200	300	30

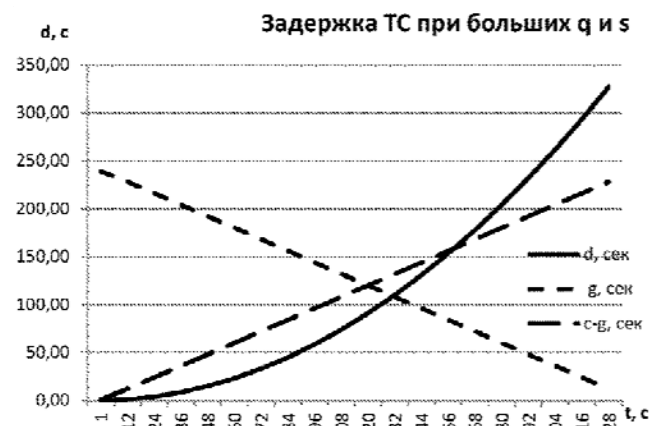


Рис. 2. Время задержки d при больших q и s

Вклад аргументов в величину функции d

t , сек	c , %	g , %	q , %	s , %	q_0 , %
1	6,89	92,90	0,03	0,16	0,02620
12	11,10	88,42	0,16	0,28	0,02624
24	15,44	83,33	0,55	0,66	0,02621
36	19,46	78,05	1,19	1,28	0,02612
48	23,14	72,62	2,06	2,15	0,02597
60	26,47	67,09	3,17	3,24	0,02575
72	29,43	61,50	4,49	4,55	0,02548
84	32,01	55,89	6,01	6,06	0,02515
96	34,20	50,31	7,71	7,75	0,02477
108	36,00	44,79	9,58	9,61	0,02434
120	37,43	39,37	11,58	11,60	0,02387
132	38,49	34,07	13,70	13,71	0,02337
144	39,21	28,93	15,92	15,92	0,02284
156	39,59	23,96	18,21	18,21	0,02228
168	39,66	19,20	20,57	20,55	0,02171
180	39,45	14,64	22,96	22,93	0,02112
192	38,97	10,30	25,37	25,34	0,02052
204	38,26	6,19	27,79	27,75	0,01992
216	37,33	2,31	30,19	30,15	0,01931
228	35,26	1,31	31,73	31,68	0,01822
Среднее	30,89	43,76	12,65	12,68	0,02347

Для более полного определения влияния аргументов функции $d = f(c, g, q, s, q_0)$ на её величину проведём анализ чувствительности функции (1) к изменению аргументов - параметров c, g, q, s, q_0 .

В [9,10] разработан метод определения количественного вклада каждого параметра дифференцируемой функции $u = f(x, y, z, \dots)$ в величину функции u . Метод основан на связи относительных погрешностей функции δu и её параметров $\delta x, \delta y, \delta z, \dots$ [8]. Эта зависимость имеет вид:

$$\delta u = \frac{1}{u} \left(x \left| \frac{\partial u}{\partial x} \right| \delta x + y \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right| \delta y + z \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \delta z + \dots \right)$$

или

$$\delta u = K_x \cdot \delta x + K_y \cdot \delta y + K_z \cdot \delta z + \dots, \quad (2)$$

где:

$$K_x = \frac{x}{u} \left| \frac{\partial u}{\partial x} \right|; K_y = \frac{y}{u} \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|; K_z = \frac{z}{u} \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right|; \dots - \text{коэффициенты}$$

влияния (значимости) соответствующих аргументов $x, y, z, \dots$ на функцию u .

Задав всем аргументам $x, y, z, \dots$ общую погрешность, например, $\delta_i = 1\%$, можно определить, на сколько процентов изменится величина δu при однопроцентном изменении каждого из параметров.

Для определения частных производных функции d по параметрам c, g, q, s и q_0 нужно преобразовать функцию (1) в более однородную структуру, т.е. раскрыть скобки:

$$d = \frac{2cq_0s + c^2qs - 2cqgs + cqs - 2q_0gs + qg^2s - qgs}{2cqs - 2cq^2}$$

и взять от неё частные производные по каждому из параметров c, g, q, s и q_0 . Затем определяются коэффициенты значимости K_i по каждому параметру в различные моменты времени сигнала светофора и определяется процентный вклад каждого параметра в величину задержки d .

Результаты расчётов слагаемых $K_i \cdot \delta_i$ уравнения чувствительности (2) для каждого параметра приведены в таблице 3 (средние данные в последней строке), по которой построены графики изменения влияния аргументов модели (1) на задержку d в функции времени – рис. 3.

Таким образом, наиболее значимым параметром функции задержки является время зелёного сигнала светофора $g - 43,76\%$, на втором месте идёт время цикла $c - 30,89\%$, третье и четвёртое места делят интенсивность разезда автомобилей s со средним вкладом в значение d в $12,68\%$ и интенсивность прибытия q с весом в $12,65\%$, пятое место у длины очереди $q_0 - 0,0024\%$.

Со значительным влиянием на задержку зелёного сигнала светофора можно согласиться, т.к. он формирует время разезда машин, основной причиной задержки является запрещающий сигнал, он представлен в модели временем цикла c , величины s и q по значимости практически одинаковы, но практически отсутствие влияния на задержку очереди q_0 перед светофором является существенным недостатком модели Бэкманна.

Значимость параметров модели Бэкманна

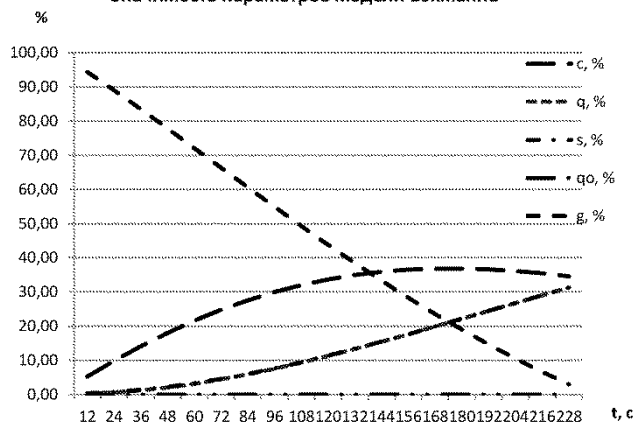


Рис. 3. Влияние параметров модели на величину задержки

Управление работой светофора можно проводить по различным критериям, основными из которых являются «минимум задержки $d = \min$ » и «минимум очереди $q_0 = \min$ »:

$$q_{0 \min} = \frac{2dcq(s-q) - scq(c-2g) - gs(c+qg+q)}{2s(c-g)} = \min \quad (3)$$

Для адаптивного управления работой светофора с критерием, например, $q_0 = \min$ «точная» модель может использоваться следующим образом (предварительно для размеров конкретного перекрёстка и условий пешеходного перехода определяется длительность предупреждающего сигнала y):

1. По данным работы светофоров на перекрёстке в предыдущем цикле c фиксируются значения параметров c, g, q, s и q_0 .

2. По модели рассчитывается время задержки d .
3. По критерию $q_0 = \min$ рассчитываются:
 - время цикла c ;
 - длительность разрешающего сигнала светофора g ;
 - длительность запрещающего сигнала r как $r = c - g - y$.

4 Сигналы устанавливаются на светофорах перекрёстка и п.п. 1 – 4 повторяются.

Таким образом, модель постоянно адаптируется к текущей ситуации на дороге и позволяет рассчитывать длительности разрешающего и запрещающего сигналов в следующем цикле по результатам работы светофоров в предыдущем цикле.

Функция (3) является зависимостью от многих аргументов, поэтому поиск экстремума $q_0 = \min$ целесообразно выполнять одним из методов математического программирования, например, методом координатного спуска, или интеллектуальных методов - методом серых волков, генетических алгоритмов и т.п.

Основные результаты и выводы:

Зависимость задержки транспорта перед перекрёстком при жёстком светофорном регулировании носит степенной характер.

К недостаткам модели М. Дж. Бэкманна относятся следующие положения:

- интенсивность разъезда всегда должна быть больше интенсивности прибытия транспорта;
- фактические интенсивности прибытия ТС к перекрёстку и их разъезда для модели не существенны, требуется только, чтобы их отношение было меньше 1;
- величина очереди практически не влияет на значение задержки транспорта.

Для модели М.Дж. Бэкманна количественно наибольшее влияние на задержку оказывает время разрешающего сигнала светофора – порядка 44%, на втором месте – время запрещающего сигнала – около 31%, практически одинаковый вклад в задержку вносят интенсивности прибытия и разъезда – по 12-13% и практически не влияет на задержку очередь ТС – менее 1 %.

При адаптивном управлении светофором с помощью модели М. Дж. Бэкманна режим работы следующего цикла проезда перекрёстка можно рассчитывать по результатам работы предыдущего цикла.

Литература

1. Beckmann M. J., McGuire C. B. and Winsten C. B., Studies in the Economics of Transportation, Yale University Press, 1956.
2. Darroch, J. N. On the Traffic-Light Queue. Ann. Math. Statist., 35, 1964.
3. Darroch, J. N., G. F. Newell, and R. W. J. Morris., Queues for a Vehicle- Actuated Traffic Light. Operational Research, 12, 1964.
4. McNeil, D. R. A Solution to the Fixed-Cycle Traffic Light Problem for Compound Poisson Arrivals. J. Appl. Prob. 5, 1968.

5. Newell, G. F. Queues for a Fixed-Cycle Traffic Light. The Annals of Mathematical Statistics, Vol.31, No.3, 1960.

6. Webster, F. V. Traffic Signal Settings. Road Research Laboratory Technical Paper No. 39, HMSO, London, 1958.

7. Miller, A. J. Settings for Fixed-Cycle Traffic Signals. Operational Research Quarterly, Vol. 14, 1963.

8. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента : справочное руководство / Л.З. Румшицкий. –М.: Наука, 1971. – 192 с.

9. Цуприков А.А. Чувствительность показателей механического бурения к изменению параметров управления / А.А. Цуприков // Сборник материалов НТВ СПбГПУ. –СПб. : Изд – во Политехн. ун-та, 2009. – №3 (80). – С. 4.

10. Цуприков А.А. Определение влияния точности измерения параметров бурения на чувствительность показателей процесса / А.А. Цуприков // Сборник материалов НТВ СПбГПУ. –СПб. : Изд – во Политехн. ун-та, 2009. – №3 (80). – С. 4.

Сведения об авторах:

Антониади Георгий Дмитриевич, соискатель на кафедре «Информатика и вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет».

Место работы: Администрация Прикубанского внутригородского округа г. Краснодара. Должность: Первый заместитель главы администрации.

350062, г. Краснодар, ул. Атарбекова, 43. Адрес: А/Я 3794, Краснодар 350000, Россия.

Телефон +7 (988) 240-25-40,

e-mail: george@antoniadi.com.

Архипов Владимир Олегович, соискатель на кафедре «Информатика и вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет».

Место работы: Администрация муниципального образования г. Краснодар. Должность - директор департамента транспорта и дорожного хозяйства.

350000, г. Краснодар ул. Красная, 122.

Телефон +7 (918) 173-74-02,

e-mail: arvlol@yandex.ru.

Цуприков Александр Александрович, доцент кафедры «Информатика и вычислительная техника».

Место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВО «КубГТУ»), каф. «Информатика и вычислительная техника»

Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Московская 2.

Телефон +7-905-438-39-04,

e-mail: tsouprikov@mail.ru.

ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ ЕРЕВАН: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Аспирант Чибухчян Г.С.

(Национальный политехнический университет Армении, г. Ереван)

PUBLIC TRANSPORT OF YEREVAN: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Chibukhchyan G.S., Post-graduate

(National Polytechnic University of Armenia, city of Yerevan)

*Общественный транспорт, г. Ереван, автобус, микроавтобус, топливо, транспортная сеть.**Public transport, Yerevan, bus, minibus, fuel, transport network.*

Современный городской общественный транспорт играет важную роль в обеспечении жизни деятельности крупных городов, решении широкого круга вопросов, связанных с проблемами их формирования и функционирования. В работе представлены основные социально-экономические показатели, показатели общественного транспорта г. Еревана, а также транспортные проблемы их социально-экологические последствия и пути решения.

Modern urban public transport plays an important role in ensuring the life of large cities, solving a wide range of issues related to the problems of their formation and functioning. The paper presents the main socio-economic indicators, indicators of public transport in Yerevan, as well as transport problems, their social and environmental consequences and solutions.

В настоящее время одной из серьезных социально-экономических и экологических задач XXI в. является решение транспортных проблем в городах, особенно в крупных городах и мегаполисах. Проблемы городского транспорта, характерные для всех стран в мире, наиболее ярко проявляются в образовании большого количества вредных выбросов, километровых заторов на дорогах, недостаточном количестве парковочных стоянок для автомобилей [1]. Важной составляющей этих процессов является общественный и пассажирский транспорт. Экономический рост любой страны невозможен без совершенствования методов и средств управления, повышения эффективности общественного транспорта и транспортных комплексов, направленных на обеспечение достойного уровня жизни населения в городах [2]. Транспортная мобильность населения является важным связующим элементом в обеспечении должного уровня качества жизни. За счет использования общественного пассажирского транспорта решаются задачи, связанные с доставкой людей к местам работы, учебы, отдыха, проведения культурного досуга [3].

Столица Армении, г. Ереван, занимает 0,78% от общей площади Республики Армения, концентрируя на своей территории более 30% населения страны. Высота города над уровнем моря составляет 850-1420 м, а средняя высота по городу - 1110 м.

В г. Ереване сконцентрировано более 80% экономики страны, 42,1% всего промышленного потенциала, 53,9% строительства, 82,6% розничной торговли, 85,5% услуг, 77,6% жилого фонда и 33,2% гостиничных услуг. Количество жителей города составляет более 1,1 млн, территория - 227 км², а плотность населения на 1 км² – около 4900 человек [4]. Приблизительно 50% транспортных средств, зарегистрированных в республике, находится в г. Ереване. Все это создает определенные трудности в эффективной организации маршрутов, эксплуатации общественного транспорта и экологической безопасности города.

Город с трех сторон окружен горами и расположен в северо-восточной части Араратской долины, на обоих берегах реки Раздан. Административные районы города имеют разные высоты над уровнем моря. Малый центр города - площадь Республики - находится на высоте 1000 м над уровнем моря [5]. Административные районы столицы существенно различаются по количеству жителей. Так, по данным на 1 января 2015 г., самым густонаселенным районом столицы являлся Канакер-Зейтун, где плотность населения составила 96 чел./га, а в районе Нубарашен этот показатель составил всего 6 чел./га, средний же показатель в Ереване - 48 чел./га.

В г. Ереване действуют 828 остановок для общественного транспорта, однако они распределены не эффективно, в результате чего очень часто на остановках наблюдаются большие скопления транспорта и создаются транспортные заторы, особенно на главных дорогах и в центре города.

Нагрузка автодорог в столице превышает допустимые нормы. Согласно критериям городского развития, на каждый квадратный километр требуется дорожная сеть длиной 2,4 км. В городе этот показатель составляет всего лишь 1,7 км, что является основной причиной длинных заторов на дорогах столицы.

Большинство пассажирских перевозок в г. Ереване осуществляются автобусами (около 39,1% от общего объема пассажирских перевозок) и микроавтобусами (50,4%). В настоящее время в автобусном парке общественного транспорта имеется 668 автобусов, которые работают на 41 маршруте, в среднем, в день выходят на линию 430-440 единиц. Количество микроавтобусов различных моделей составляет 1420 единиц, которые работают на 73 маршрутах, средняя длина маршрута составляет 31,7 км (минимум - 17 км и максимум - 39 км), средняя эксплуатационная скорость - 20,5 км/ч (минимальная - 17 км/ч и максимальная -

21,3 км/ч) [6]. В 2017 г. общее количество пассажирских перевозок автобусами составило 92,8 млн пассажира или 47, 2 % от общего количества пассажиров. Средний возраст общественных автобусов составляет в среднем 8-10 лет, а микроавтобусов – 6-7 лет.

В составе городского транспорта столицы, кроме автобусов и микроавтобусов, имеется также около 50 троллейбусов на маршрутах и более 2000 такси. Все это вместе создает реальные основы для появления частых заторов, резкого изменения режима движения и работы транспорта, что в итоге приводит к дорожно-транспортным происшествиям, резкому увеличению вредных выбросов и повышенному шуму не только в самом центре, но и в прилегающих районах столицы, с вытекающими из этого серьезными проблемами [6].

Сегодня центр фактически превратился в большой перекресток миллионного города. Это недопустимо, поскольку загрузка улиц уже превышает 150%. А ведь необходимо обеспечить нормы как по интенсивности и загруженности улиц, так и по их пропускной способности. Нельзя вечно перегружать центр.

Естественное положение столицы препятствует естественному разгону загрязняющих веществ в атмосфере и приводит к высоким концентрациям в воздухе. В настоящее время основным источником загрязнения воздуха в столице являются выбросы отработавших газов автомобилей, которые накапливаются в результате интенсивной эксплуатации дорожной сети, причем около 95% загрязняющих веществ это результат работы общественного транспорта. В 2017 г. 52% от всех вредных выбросов в Армении приходится на автотранспорт, а в г. Ереване это составляет 76%, что очень высоко, учитывая весьма скромные площади зеленых зон города. На одного жителя г. Еревана в 2015 г. приходилось 7,6 м² зеленой площади, между тем по рекомендациям Международной организации здравоохранения минимальная площадь должна быть не менее 9,0 м², а желаемое - 50,0 м².

В 2016 г. в Армении количество зарегистрированных автомобилей составило 558540 единиц, из них 400029 или 71,6 % выпуска до 2002 г. и поэтому не обеспечивают выполнение требований экологической безопасности. Если учесть, что более 60 % всех автотранспортных средств Армении эксплуатируются в г. Ереване или пригороде, то это создает серьезную экологическую проблему.

Таблица

Количество вредных выбросов от автотранспорта в зависимости от вида топлива (тыс.т) [7]

Годы	бензин	дизтопливо	СПГ	общее
2005	50.903	7.432	4.849	63.185
2010	52.006	8.566	10.386	70.958
2013	36.235	8.952	14.920	60.107
2014	35.588	9.330	15.729	60.648
2015	35.911	7.950	15.745	59.606

В период 2000-2015 гг. потребление топлива транспортом увеличилось в 2,4 раза, при этом бензина – в 1,4 раза, дизельного топлива – в 2,3 раза, а сжатого природного газа - в 16,5 раз. В 2015г. 58 % от общего количества употребляемого топлива составил сжатый природный газ (СПГ) (табл.). Количество автобусов, работающих на бензине и СПГ составляет 80% и более от

общего количества подвижного состава, а количество микроавтобусов - около 95%. Количество автобусов, работающих на дизтопливе, составило всего 19%.

Высокая интенсивность движения и перегруженность автодорог в г. Ереване приводит к значительному снижению в часы пик средней скорости на главных дорогах. Средняя скорость составляет для автобусов 20,2 км/ч, микроавтобусов 20,8 км/ч, троллейбусов 14,8 км/ч, в среднем 18,6 км/ч. Это непосредственно влияет как на загрязненность воздуха, так и снижение производительности и повышению себестоимости перевозок.

Как видно из таблицы, в 2015г. потребление СПГ автотранспортом составило 58% от общего количества топлива, при этом вредные выбросы от СПГ составили всего 26% от общего количества выбросов.

Основными эксплуатационными факторами, влияющими на режимы работы агрегатов автомобиля, являются средняя скорость, нагрузка на автомобиль, сопротивление дороги движению, среднегодовая температура воздуха, частота и характер разгонов и торможений. Состояние дорожного покрытия и профиль дороги оказывают существенное влияние на выброс вредных веществ и расход топлива [8].

Состояние общественного транспорта в г. Ереване оценивается экспертами как неудовлетворительное. С целью обеспечения нормальной работы транспортной сети принимаются временные решения проблем в данной сфере. Сфера транспорта должна подвергнуться системным изменениям. Городской транспорт г. Еревана считается проблемой не только для жителей столицы, но и для приезжающих на учебу, работу, путешествие и др. По данным соцопросов 18,9 % опрошенных в качестве важнейшей проблемы в своем административном районе указали проблемы общественного транспорта. По шкале оценок от 1 до 5, граждане оценили состояние общественного транспорта в 2,8 баллов.

Автобусные маршруты на договорной основе эксплуатирует ЗАО "Автобусы Еревана" и 18 частных фирм. Фактически эксплуатируется 65% имеющегося парка, простаивают примерно 230 автобусов. Отметим, что в 2012-2017 гг. были приобретены 434 новых автобусов.

Согласно данным мэрии г. Еревана, на балансе ЗАО "Ереванский электротранспорт" находится 79 троллейбусов (1 – техпомощь), в том числе 9 из них – марки "Рено", 34 – "Шкода", и 36 – "ЛИАЗ". Компания обслуживает 5 троллейбусных маршрутов, ежедневно выпускающая на линию, в среднем, 46-48 единиц подвижного состава. То есть, эксплуатируется 59% имеющихся троллейбусов [4].

Сеть Ереванского метрополитена располагает 10 станциями, общая длина линии 12,1 км, имеется 45 вагонов. В рабочие дни на линию выводится 26 вагонов, организованных в 13 составов, а в субботу и воскресенье – 24 вагона (12 составов), т.е. эксплуатируется 55% вагонного парка [5].

Согласно проекту реформирования транспортной системы г. Еревана мэрия планирует окончательно отказаться от маршрутных такси в целом и "ГАЗелей" в частности и перейти к использованию крупных автобусов. Запуск микроавтобусов возможен в том случае, если по техническим причинам крупногабаритная техника на этих маршрутах использоваться не может.

После обретения независимости, столичная маршрутная сеть сформировалась посредством ситуатив-

ных решений. Она больше непродуктивна, в данной сфере требуются серьезные перемены. Реформы, требующие по экспертной оценке 100 млн дол. инвестиций, будут осуществлены при поддержке международных организаций и частных лиц. В частности, ведутся переговоры с Европейским инвестиционным банком.

В проекте новой сети общественного транспорта г. Еревана предлагается исключить дублирующие маршруты и в 3 раза сократить количество транспортных единиц. Планируется, что из нынешних 115 маршрутов будут действовать 42, при чем 11 маршрутов из 42 будут основными, 30 – дополнительными и один – скоростной маршрут в аэропорт. Из 2039 транспортных средств, эксплуатируемых в настоящее время, в новой транспортной сети будут функционировать лишь 939, в это число входят и резервные автобусы, т.е. реально в эксплуатации будут 833 автобуса [3]. В настоящее время рабочими часами общественного транспорта считаются 07:00 – 23:00, а, по новому проекту с 06:45 до 24:00. Интервал между прибытием транспортных средств с 06:45 до 08:00, а также с 19:00 до 21:00 составит 10 мин., в часы пик (с 08.00 до 19.00) – 5 мин., а с 21:00 до 24:00 – 15 мин. Предлагается также увеличить на 25% количество остановок – до 1181 вместо нынешних 834 [5]. Интервалы станут короче, среднее время ожидания на остановке составит 3 мин. Курсировать транспорт будет по графику, у каждого транспортного средства будет по 2 водителя. В связи с этим намечается создание новых рабочих мест.

Наиболее значимыми для общественного транспорта в условиях эксплуатации в г. Ереване являются следующие эксплуатационные свойства: тягово-скоростные, топливная экономичность, плавность хода, безопасность движения, тормозные свойства, управляемость, маневренность. Особое значение имеет качество вождения, технического обслуживания и ремонта машин [9].

Значительная доля затрат на обеспечение работоспособности общественного транспорта в процессе эксплуатации приходится на ремонт. Основные причины высоких затрат на ремонт - нехватка конкретных нормативов и недостаточный учет эксплуатационных факторов. Исходя из вышесказанного проблема разработки конкретных нормативов ТО и ремонта автотранспорта с использованием рационального измерителя процесса эксплуатации весьма актуальна. От ее решения во многом зависят производительность транспорта и себестоимость перевозок. Обеспечение высокой эффективности их работы имеет важное социально-экономическое и экологическое значение [10-14].

Для повышения эффективности и надежности работы общественного транспорта, а также безопасности дорожного движения и экологической безопасности, важное значения имеют:

- определение отказов механизмов, систем и деталей, исходя из реальных условий эксплуатации общественного транспорта;
- выявление закономерностей распределения отказов;
- определение основных деталей, лимитирующих надежность механизмов, систем и агрегатов общественного транспорта;
- оценка качества работ по ТО и ТР, непосредственно влияющих на надежность;

- корректировка нормативов технической эксплуатации подвижного состава в зависимости от основных эксплуатационных факторов и работы,

- качество вождения и технической эксплуатации в целом,

- качество эксплуатационных материалов,

- запрещение ввоза подвижного состава общественного транспорта, не соответствующего экологическим требованиям Евро-3,

- оснащение остановок общественного транспорта электронными расписаниями маршрутов,

- модернизация подвижного состава наземного электротранспорта, учитывая, что средний возраст троллейбусов составляет более 20 лет,

- развитие электротранспорта, приобретение новых электромобилей для службы такси и развитие инфраструктуры для обеспечения своевременной зарядки системы электроснабжения,

- развитие транспортной инфраструктуры, особенно в тех местах, которые позволяют значительно разгрузить транспортные потоки в часы пик,

- реконструкция остановок общественного транспорта с учетом габаритных размеров новых больших автобусов, которые планируются эксплуатировать в г. Ереване, согласно проекту развития городского общественного транспорта,

- оснащение остановок электронными расписаниями маршрутов, а городских автобусов - системами GPS.

Все это в комплексе позволит значительно повысить надежность и безопасность эксплуатации общественного транспорта, обеспечит повышение производительности, что в конечном итоге позволит снизить эксплуатационные расходы и себестоимость перевозок, что имеет важное значения для общественного транспорта и жителей столицы.

Реализация представленного проекта позволит в краткосрочной перспективе решить наиболее острые проблемы городского транспорта. Дальнейшее развитие городского транспорта Еревана в средне- и долгосрочной перспективе требует проведения широких научных исследований с использованием современных средств моделирования и информатизации. Значительная часть исследований должна обеспечить оптимизацию транспортных коммуникаций и выявить эффективные пути взаимодействия разных видов городского транспорта. В этих исследованиях следует учитывать градостроительные перспективы развития города на долгосрочную перспективу. Крайне важно также использовать опыт развития городского транспорта крупных городов за рубежом, где в последние годы достигнут значительный прогресс.

Литература

1. Груничев, А.Г. Транспортные проблемы современного города (на примере Нижнего Новгорода) [Текст] / А.Г. Груничев // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 281-283.
2. Морозова, Т.Г. Городское хозяйство: Уч. Пособие [Текст] / Т.Г. Морозова, Н.В.Иванова, В.Э.Комов и др.- М.: ИНФРА-М, 2010 - 361с.
3. Шмарин, А.А. Анализ основных проблем функционирования автомобильного пассажирского транспорта [Текст] / А.А. Шмарин, А.П. Шмарин А.П. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9-4. – С. 703-707.

4. <http://www.armstat.am>.
5. <https://www.yerevan.am/am/staff>.
6. Тарасик, В.П. Теория движения автомобиля: учеб. для ВУЗ-ов [Текст] / В.П. Тарасик. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 240 с.
7. Стратегическая экологическая оценка программы Зеленый Ереван. <<ЭРНСТ ЭНД ЯНГ>> ЗАО, Ереван.- 2017.- 284 с.
8. Чибухчян С.С. Надежность и эффективность работы микроавтобусов в едином комплексе [Текст] / С.С. Чибухчян // Логистика.- 2012.- № 9. - С.48-49.
9. Чибухчян С.С. Классификация основных факторов, влияющих на эксплуатационные показатели автомобиля [Текст] / С.С. Чибухчян, М.К. Авагян, Г.С. Чибухчян. // Вестник Национального политехнического университета Армении. Механика, Машиноведение, Машиностроение.- 2017.- № 2. - С.78-86.
10. Гудков, В. А. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник для вузов [Текст] / В.А.Гудков, Л.Б. Миротин и др.. - М.: Горячая линия - Телеком. 2006. 448 с.
11. Коробейников Е. Транспортная стратегия Лондона. Urban Urban. [Электронный ресурс]. URL: <http://urbanurban.ru/2011/12/16/london-transportstrategy/>.
12. Транспортная стратегия Берлина. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.google.com/gview?url=http://um-mag.ru/wpcontent/uploads/2011/09/UM_4_2011_p106-111.pdf&chrome=true.
13. The Reasons, Development and Consequences of Economic Crisis in Russia. Proc. of International Symposium on the Economic Development of "BRICs", Dec. 4, 2009. – Beijing: Academic Division of Economics, Chinese Academy of Social Science, Institute of Economics (pp. 53-59; pp. 181-187). In English/Chinese.
14. World Transport Policy & Practice. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecologica.co.uk/worldtransport.htm>.

Сведения об авторе:

Чибухчян Григор Суренович, аспирант 1-го года на кафедре «Транспортные средства» Национального политехнического университета Армении.

Адрес: Республика Армения, 0010, г. Ереван, ул. Терян 105.

Тел. +374.93.22.35.04,

e-mail: armenpack@mail.ru,

Address: Republic of Armenia, 0010, Yerevan, st. Teryan 105

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ THE INFORMATION FOR AUTORS

ПРАВИЛА

направления, опубликования и рецензирования научных статей

1. К рассмотрению принимаются рукописи, отражающие результаты оригинальных исследований. Содержание рукописи должно относиться к тематике журнала, соответствовать его научному уровню, обладать определенной новизной и представлять интерес для широкого круга читателей журнала.

2. Опубликованные материалы, а также рукописи, находящиеся на рассмотрении в других изданиях, к публикации не принимаются.

3. Редакционная коллегия, а также рецензенты принимают на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи.

4. Рукопись должна содержать постановку задачи, исследование, библиографические ссылки и выводы.

5. К рассмотрению принимаются рукописи объемом не более одного авторского листа (авторский лист содержит 40 тыс. знаков, включая пробелы). Статьи принимаются в распечатанном виде и по электронной почте.

6. **Рукопись статьи должна быть представлена в следующем составе и последовательности:**

- перед названием статьи должно быть указан индекс УДК;
- название статьи на русском языке, под ним – фамилия автора (авторов) с указанием учёной степени, звания, места работы или учёбы;

- название статьи на английском языке, под ним – в латинской транслитерации фамилия автора (авторов) и на английском языке указание учёной степени (например, Doctor (Tech.), Ph. D.(Econ.)), звания (например, Professor, Associate Professor), места работы или учёбы;

- ключевые слова на русском языке, под ними - ключевые слова на английском языке (не менее пяти слов) (курсивом);

- аннотация (краткий реферат) не более 10 строк на русском языке, под ней - аннотация на английском языке (курсивом);

- текст, напечатанный шрифтом Times New Roman, кегль 14, через полтора интервала, в одну колонку, с полями не менее 20 мм, с пронумерованными страницами, с указанием номеров рисунков, рисунками, подрисовочными подписями и необходимыми к ним пояснениями. **Все рисунки должны быть черно-белыми, без оттенков, четко выполненными.** Рукопись не должна содержать более 10 рисунков и 5 таблиц;

- список использованной литературы (библиография) - не менее десяти источников, желательно использование также зарубежных источников;

- сведения об авторах: фамилия, имя и отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы и (или) учебы (полностью), адрес учреждения (с почтовым индексом) (домашний адрес не указывается), контактные телефоны (в том числе мобильный), e-mail;

- подписи авторов с указанием даты отправки рукописи.

7. **Рукопись должна быть представлена также на электронном носителе** (в программе Microsoft Word, шрифт Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5, расположение в одну колонку).

Текст и каждый рисунок должны быть представлены отдельными файлами:

- текста статьи – в формате DOC или RTF, имя файла текста статьи должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации (например, Karpuhin.doc)

- рисунки – в одном из форматов: TIFF, JPEG, GIF, EPS. Имя файла каждого рисунка должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации, дополненного знаком «подчеркивание» и номером рисунка в статье (например, Karpuhin_1.tif; Karpuhin_2.tif и т.д.).

8. При написании математических формул, подготовке графиков, диаграмм, блок-схем не допускается применение размеров шрифтов менее № 8 (за исключением индексов). Таблицы, рисунки и формулы являются частью текста и должны допускать электронное редактирование. Сложные математические формулы должны быть представлены как встроенные в Word объекты Microsoft Equation (Math Type).

9. Ссылка на литературу дается в порядке упоминания; в тексте номер ссылки ставится в квадратные скобки. Список использованных источников приводится в конце рукописи под заголовком «Литература». Библиографические описания в этом списке литературы оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

10. **К рукописи статьи прилагается экспертное заключение** о возможности публикации статьи в открытой печати, заверенное подписью и печатью.

11. Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. К рецензированию могут привлекаться члены Редакционной коллегии.

12. Редакция издания направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию сборника соответствующего запроса.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, редакцией не рассматриваются.

13. Все публикации в сборнике бесплатные. Авторские экземпляры научных сборников заказываются за плату.

14. Полные тексты статей сборника публикуются с отставанием на 12 мес. с момента выхода из печати и находятся в свободном доступе на сайте ВИНИТИ РАН (Раздел «Издания и продукты»). – URL: <http://www.viniti.ru/products/publications/pub-12187#issues>.

15. Полное содержание журнала и метаданные статей (по мере выхода) находятся в свободном доступе на сайте НЭБ. – URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1367223>

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

предлагает научным работникам, аспирантам и другим специалистам в области естественных, точных и технических наук, желающим быстро и эффективно опубликовать результаты своей научной и научно-производственной деятельности, использовать способ публикации своих работ через *систему депонирования*.

Депонирование (передача на хранение) – особый метод публикации научных работ (отдельных статей, обзоров, монографий, сборников научных трудов, материалов научных конференций, симпозиумов, съездов, семинаров), разрешенных в установленном порядке к открытому опубликованию.

Подготовка и передача на депонирование научных работ происходит в соответствии с «Инструкцией о порядке депонирования научных работ по естественным, техническим, социальным и гуманитарным наукам» (М., 2014).

Депонированные научные работы находятся на хранении в депозитарии ВИНТИ РАН, копии работ предоставляются заинтересованным организациям и специалистам на бумажном и электронном носителях и являются официальной публикацией.

Информация о депонированных научных работах включается в информационные издания ВИНТИ РАН: Реферативный журнал, Базу данных и Аннотированный библиографический указатель «Депонированные научные работы».

Направить научную работу на депонирование можно, обратившись в Группу депонирования ЦНИО ВИНТИ РАН по адресу:

125190, Москва, ул. Усиевича, 20.

ВИНТИ РАН, Группа депонирования ЦНИО

Тел.: 499-155-43-28, 499-155-43-76, 499-155-42-43, Факс: 499-943-00-60,

E-mail: cnio@viniti.ru, dep@viniti.ru

С инструкцией о порядке депонирования можно ознакомиться на сайте ВИНТИ РАН:
<http://www.viniti.ru>