

где S – скидка на альтернативный маршрут, руб.; T – тарифная стоимость проезда, руб.; k – коэффициент загрузки платформы ТПУ (рассчитывается ИИ); W – максимальная вместимость платформы, чел.; N – количество пассажиров на платформе, чел.; a – альтернативный маршрут; z – загруженный маршрут.

Согласно опросу, проведённому ВЦИОМ в 2021 году, 13 % пассажиров Московской агломерации при выборе маршрута в первую очередь руководствуются стоимостью проезда по нему [3]. Если регулятор сможет повлиять на транспортный спрос даже 13 % людей, предложив им более выгодные условия оплаты проезда, ежедневно высвободится порядка 900 тысяч пассажиров, которых можно распределить по менее загруженным узлам, улучшив взаимодействие различных видов транспорта между собой и повысив комфорт всех пассажиров в транспортной системе.

Список литературы

1 Москва резиновая: каждый год население столицы растет на 300 тыс. человек [Электронный ресурс] // Новые известия. – Режим доступа : <https://newizv.ru/news/2019-09-11/moskva-rezinovaya-kazhdyu-god-naselenie-stolitsy-rastet-na-300-tys-chelovek-zachem-297587>. – Дата доступа : 15.03.2023.

2 Празднование Нового года в Шанхае закончилось трагедией [Электронный ресурс] // ТВЦ.ру – Режим доступа : <https://www.tvc.ru/news/show/id/58728>. – Дата доступа : 15.03.2023.

3 Тренды в городском транспорте – 2021 [Электронный ресурс] // ВЦИОМ.ру. – Режим доступа : <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/trendy-v-gorodskom-transporte-2021>. – Дата доступа : 15.03.2023.

УДК 658

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДСКОГО ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Д. П. ХОДОСКИН, К. В. ДУБОВИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Недостаток интеллектуальных средств в инфраструктуре городского дорожного движения является серьезной проблемой, которая влияет на безопасность и эффективность дорожного движения. Эта проблема связана с тем, что многие города не обладают достаточным количеством интеллектуальных средств, таких как камеры видеонаблюдения, датчики, светофоры, системы оповещения и другие, которые могут использоваться для регулирования движения и улучшения его эффективности.

Актуальность этого исследования связана с крайне серьезными проблемами обеспечения безопасности движения в больших городах, где во всем мире ежегодно в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) погибает более одного миллиона человек и более 50 миллионов получают травмы различной степени тяжести. По оценкам ВОЗ международные денежные потери из-за дорожно-транспортного травматизма и материального ущерба составляют 500 млн евро в год. Почти 700000 смертей ежегодно происходят в результате загрязнения воздуха, связанного с дорожным движением. Эта проблема усугубляется неуклонно возрастающей автомобилизацией и технологической отсталостью дорожно-транспортных сетей. В целом современная ситуация в сфере безопасности дорожного движения представляет собой кризис, выход из которого возможен только при комплексном подходе к решению данной проблемы обеспечения безопасности дорожного движения [1].

Меры обеспечения безопасности дорожных движений также предусматривают эффективную работу по управлению дорожным движением. В этом случае эффективность означает, кроме безопасности: 1) эффективность прохождения маршрута всеми участниками дорожного движения, во многом определяющая материальные затраты (также один из показателей эффективности организации дорожного движения); 2) точность сопровождения транспортных средств, движущихся по установленным маршрутам, является показателем, демонстрирующим наибольшую чувствительность к изменениям состояния дорожной инфраструктуры; 3) экологичность дорожно-транспортной инфраструктуры, которая находится в прямой зависимости от количества задержек транспортных средств в сети и, как следствие, взаимосвязана с первым показателем; 4) надежность дорожной инфраструктуры в целом, которая определяется надежностью всех ее составляющих: людей, дорог, транспорта, а также технических средств организации дорожного движения.

Работы в области организации и обеспечения безопасности дорожного движения (Г. И. Клинковштейна, Ю. А. Кременца, З. Д. Дереха, Е. А. Рейцена, С. П. Ткачука, В. Ф. Душника) подтверждают, что наиболее перспективным направлением решения подобных задач является применение автоматизированных систем управления дорожным движением, которые определяют и задают оптимальные программы управления светофорными объектами. В частности, для сложных городских сетей необходимо определить оптимальное управление светофорными объектами, которое должно обеспечивать наибольшую пропускную способность при минимальных потерях времени с учетом данных о трафике в режиме реального времени, а также многих факторов, влияющих на трафик, таких как характеристики улично-дорожной сети (УДС), погодных условий и др. При этом система управления должна быть обеспечена специальными техническими средствами оперативной регистрации параметров транспортного потока – датчиками присутствия или проезда транспорта [2–4].

Для достижения поставленной цели предлагается рассмотреть интеллектуальную транспортную инфраструктуру (ИТИ), которая отличается от существующих автоматизированных систем управления транспортными потоками (АСУ ТП) структурной интеграцией трех взаимосвязанных интерактивных компонентов [5]: 1) существующих служб электронной картографии со средствами радиолокации и радионавигации; 2) нового облачного сервиса мониторинга и управления дорожным движением на базе дорожных контроллеров; 3) продвинутых средств радиочастотной идентификации автомобиля и доступа к облачным сервисам.

В этом случае новизна определяется полной интеграцией облака мониторинга и управления, устройств радиочастотной идентификации, а также инструментов управления транспортной и дорожной инфраструктурой, позволяющих автоматизировать процессы оптимального управления транспортом и движением трафика в режиме реального времени для решения социальных, гуманитарных, экономических и экологических проблем (потерь) с учетом уровней города, области, страны и т. п. (рисунок 1).

Анализ имеющихся автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД) показал, что при проектировании подобных систем обычно используется двухуровневая архитектура типа «клиент – сервер» (рисунок 2), где в качестве клиентов выступают дорожные контроллеры (ДК), а центральный сервер обеспечивает централизованное управление дорожным движением, базируется на центральном диспетчерском пункте (ЦУП), который координирует работу центра и получает информацию о состоянии для отображения диспетчеру.

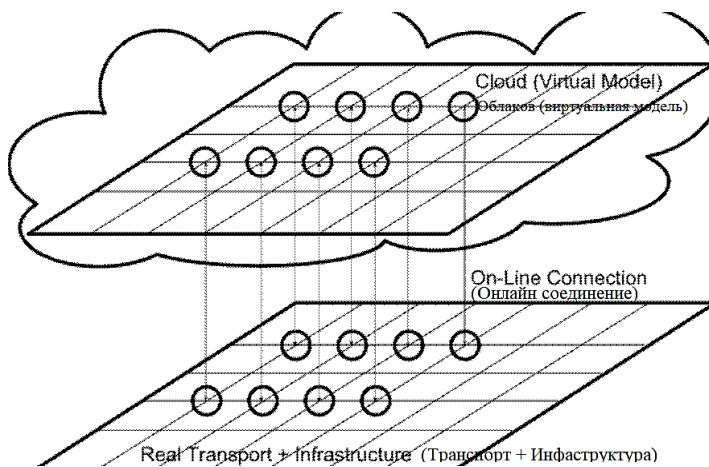


Рисунок 1 – Отображение инфраструктуры и транспорта в облаке [5]

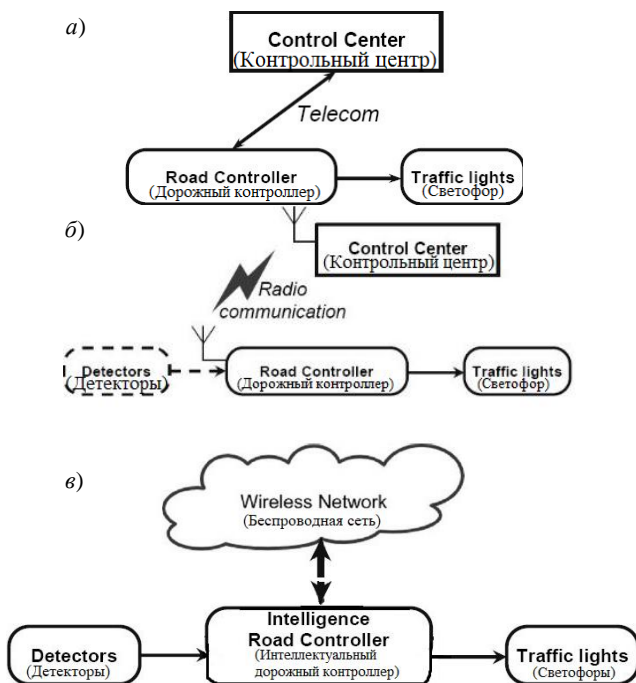


Рисунок 2 – Эволюция технологий управления дорожным движением [5]:
 а – структура АСУДД первого поколения (устаревшая); б – структура АСУДД второго поколения (современная); в – структура АСУДД третьего поколения (перспективная)

Такая структура имеет ряд недостатков, среди которых наиболее важным является переход на локальное управление всеми светофорами в случае выхода из строя сервера или другого компонента ЦУП. Можно выделить два поколения таких систем. АСУДД первого поколения (см. рисунок 2, а) также состоит из устаревших контроллеров, среди которых только ДКМ продолжает благополучно работать. Также оставляет желать лучшего проводная телефонная сеть между центром и другими элементами. Отсутствие полноценной обратной связи от ЦУП в контуре управления этой системы означает, что неисправный светофорный объект может быть обнаружен только при внешнем осмотре. В таких условиях осуществлять оперативное отслеживание параметров транспортного потока с помощью транспортных детекторов весьма проблематично. Все это свидетельствует о низкой управляемости и надежности таких систем [4].

В АСУДД второго поколения (см. рисунок 2, б) осуществляется использование современного оборудования ЦУП и средств проводной и

(чаще) радиосвязи с дорожными контроллерами на периферии, также различный диапазон детекторов транспорта для оперативного отслеживания характеристик транспортных потоков. Такие системы более надежны и устойчивы в эксплуатации, демонстрируют высокую прогрессивность и наблюдаемость состояния объекта управления, и вместе с тем высокую стоимость. Однако они не лишены характерного для двухуровневых структур недостатка: остановки координированного управления в случае выхода из строя оборудования ЦУП.

Указанного недостатка лишена АСУДД третьего поколения (см. рисунок 2, в). Имеет структуру, аналогичную АСУДД второго поколения, за исключением того, что центр управления интегрирован в «облако», т. е. посредством услуг, доставляемых по существующей беспроводной глобальной сети связи, имеющей распределенную структуру по всей планете. Он гарантирует устойчивую работу АСУДД в режиме согласованного управления даже при физическом отсутствии ЦУП, поскольку ряд облачных серверов, координирующих отдельные группы ДЦ, разнесенные по географическим признакам, может обеспечивать согласованное управление и взаимодействовать с каждым из них. Функции отправителя доступны в любое время из любой точки планеты через защищенные облачные сервисы. Следует отметить, что такая система должна иметь комплекс технических средств для мониторинга состояния дорожно-транспортной сети на нижнем уровне управления, а в облаке – вычислительные ресурсы, обеспечивающие этот мониторинг – так называемые инфраструктурные мониторы.

Инновационность этой системы заключается, прежде всего, в интеллектуализации основных процессов организации дорожного движения, синхронизирующей, в том числе процессы развития реальной дорожно-транспортной инфраструктуры. Такая интеллектуальная облачная инфраструктура становится самодостаточной координирующей надсистемой, радикально решающей проблему безопасности дорожного движения путем полного исключения аварийных и предаварийных ситуаций на дорогах за счет тотального контроля и интеллектуального управления. Рассмотрим данное построение более детально с точки зрения обмена информации между четырьмя ее компонентами (рисунок 3) [5].

Cloud Servers – серверы, создающие облако долговременного хранения распределенных данных и сервисов; Buffer Computers – буферные компьютеры, обеспечивающие сбор данных от мониторов инфраструктуры и проведение сервисов управления дорожным контроллерам; C-RFID – компьютерные блоки радиочастотной идентификации транспортных средств; I-СМС – инфраструктурные контроллеры мониторинга и управления дорожным движением на основе радиочастотной идентификации транспортных средств.

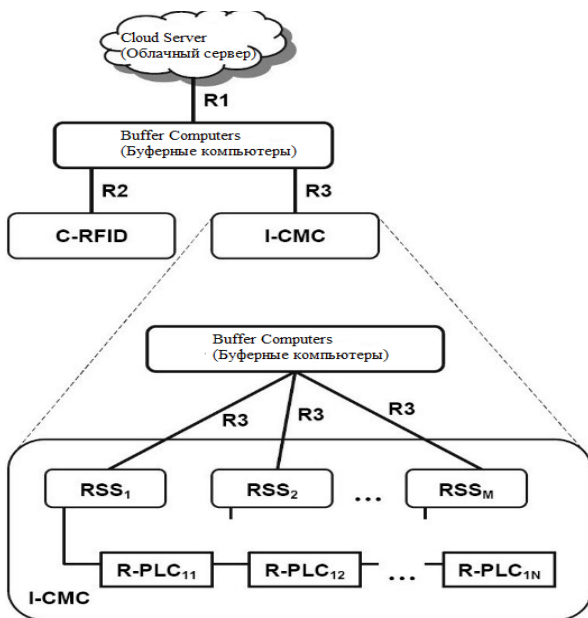


Рисунок 3 – Архитектура перспективной АСУДД с тремя уровнями управления [5]

Структура коммуникационной интеграции четырех компонентов АСУДД представлена транзакциями: $(R1\ R2) = (SC, BC, C-RFID)$ – доставка облачных услуг потребителю; $(R1\ R3) = (SC, BC, I-CMC)$ – обмен информацией с контроллерами шины. Маршрут первого типа использует традиционные интернет-технологии GPRS, HSPA, Wi-Fi, WiMAX. Для второго типа процессов в силу их крайней важности, а также высоких требований к надежности, помехозащищенности и безопасности необходимы дополнительные научно-технические исследования. Предполагается, что блок C-RFID будет содержать индивидуальный код транспортного средства, код электронной регистрации по месту жительства, а также код водителя, который в данный момент управляет данным транспортным средством. Кодовое трио должно считываться радиоустройствами, которыми должны быть оборудованы все светофорные объекты, мосты, туннели, железнодорожные переезды и другие важные для управления движением точки дорожной сети [6]. При этом наиболее интересен компонент I-CMC. Модуль RSS представляет собой надежный промышленный компьютер, а компонент R-PLC построен на базе компактного и достаточно мощного программируемого логического контроллера (ПЛК) S7–1200 от SIEMENS для программирования технологических

процессов, в том числе для решения задач автоматического управления дорожным движением.

На рисунке 4 представлена схема технической реализации инфраструктуры городского дорожного движения (ИГДД) на основе АСУДД третьего поколения. В данной схеме просматриваются три уровня управления [8].

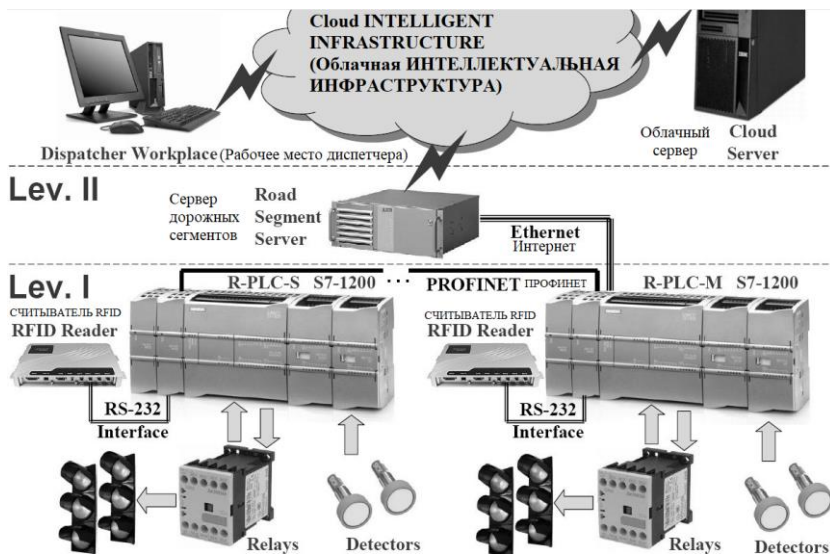


Рисунок 4 – Техническая реализация инфраструктуры городского дорожного движения [8]

На уровне 1 реализуется технологическое управление дорожным движением в автоматическом и ручном режиме посредством специальных компьютерных и периферийных устройств. В качестве вычислительного средства используется ПЛК S7-1200. Источниками данных для управления являются информационно-регистрирующие устройства двух типов: 1) RFID-считыватель, собирающий данные с транспондеров участников дорожного движения в пределах светофорного объекта; 2) детекторы транспорта, регистрирующие параметры входящих потоков транспорта. Исполнительные устройства представлены электромагнитными реле, обеспечивающими срабатывание светофоров. Коммуникация с центром управления осуществляется через уровень 2.

Уровень 2 – промежуточный (общение). Он выполняет две функции: 1) обеспечивает связь между частями ИГДД и локальными контроллерами сегментов; 2) осуществляет централизованное управление контроллерами сегментов в случае назначения многоуровневой связи (РСС). По каналу Ethernet ячеистая сеть полевой шины подключается к контроллеру управле-

ния R-PLC-M (главный), который подключен к ячеистой сети. RSS имеет доступ в Интернет и поэтому интегрирован в облачную инфраструктуру.

Уровень 3 – центральное управление. Осуществляет скоординированный контроль исправности светофора на уровне 1 через буферные компьютеры на уровне 2. Он включает в себя серверную часть, построенную на ресурсах с облачными вычислительными средствами (облачными серверами), а также включенный человеко-машинный интерфейс. Оснащен рабочими станциями, оборудованием и программным обеспечением для аварийного и оперативного управления.

Техническая реализация этого аспекта ИГДД заключается в применении контроллера SIMATIC S7–1200, включающего автоматизацию регулирования и управления движением и выполняющего управление в машиностроении, задачи корпоративного управления и многие другие ситуации. Он имеет высокую точность и относительно высокую стоимость [9]. Каждый контроллер оснащен стационарным RFID-приемником, использующим общее считывание данных с нескольких транспондеров участников дорожного движения в радиусе до 12 метров и имеющим различные интерфейсы взаимодействия с контроллером [10]. Взаимодействие контроллера с другими периферийными функциями (устройствами) и структурного узла с узлом управления см. рисунок 5.

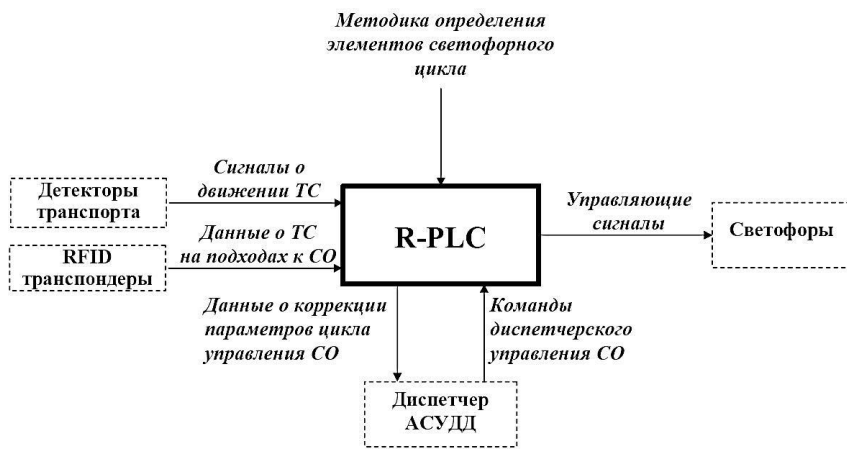


Рисунок 5 – Порядок взаимодействия [10]

Подсистема реализует такие функции [7]: 1) установка параметров цикла светофорного регулирования по команде диспетчера (диспетчерское управление); 2) регистрация данных о движении транспорта на подходах к светофорному объекту; 3) выработка корректировок параметров цикла светофорного регулирования (интеллектуальное управление); 4) формирование и

вывод управляющих воздействий на светофоры (непосредственное управление); 5) передача данных о коррекции параметров цикла светофорного регулирования диспетчеру (обратная информационная связь).

Функция 2 обеспечивает необходимую обратную связь с объектом управления. Технически ее выполнение обеспечивают детекторы транспорта и оборудование радиочастотной идентификации транспорта. Для реализации интеллектуального управления (функция 3) необходимо учитывать также и параметры потоков на смежных светофорных объектах, принятые по сети от соответствующих дорожных контроллеров. Идентификация и оценивание этих параметров, а также подготовка на их основе данных для интеллектуального управления – предмет отдельного исследования.

Кроме того, при проведении системных исследований было установлено влияние на движение транспорта по УДС города большого количества различных параметров, некоторые из которых, такие как сложность и степень опасности пересечения, погодные условия, видимость дорожной разметки, насыщенность средствами светофорного регулирования и дорожными знаками, а также эффективность их восприятия участниками дорожного движения и др., трудно поддаются формализации классическими аналитическими и вычислительными методами. Более того, большинство выявленных параметров характеризуются высокой степенью неопределенности. В связи с этим для погашения неопределенности оказалось целесообразно применить методику нечеткого вывода и построить на ее основе модель нечеткого управления светофорным регулированием на заданном светофорном объекте, структура которой показана на рисунке 6 [11]. На вход модели поступают указанные выше данные о транспортных потоках (входная информация см. рисунок 6) с заданного (2) и смежных (3) светофорных объектов, а также смоделированные параметры на предыдущем цикле регулирования (обратная связь 1). Характеристики УДС (4), обладающие, как указано выше, высокой степенью неопределенности, определяются нечеткими переменными [11].

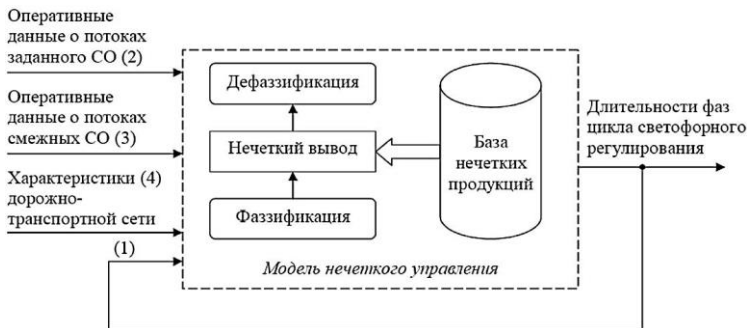


Рисунок 6 – Структура модели нечеткого управления светофорным регулированием на заданном светофорном объекте [11]

Логика регулирования дорожного движения представляется в виде базы нечетких правил. Блок нечеткого вывода генерирует значения трех выходных нечетких переменных, выражающих параметры цикла светофорного регулирования на пересечении: длительность цикла, длительность зеленой фазы по главному направлению и длительность переходного интервала. Затем значения этих параметров применяются для задания фактических параметров светофорного регулирования на данном светофорном объекте. Такова, в общем, концепция нечеткого управления светофорным регулированием на заданном светофорном объекте. Детальная разработка этой концепции – предмет отдельного исследования, требующего работы с экспертами по организации и регулированию дорожного движения и, по крайней мере, имитационного моделирования данного процесса в условиях как детерминированного, так и нечеткого управления.

Ожидаемый эффект от внедрения интеллектуальных технологий в инфраструктуру городского дорожного движения: сокращение времени прохождения маршрута внутри дорожно-транспортной сети, покрываемой ИГДД, всеми участниками дорожного движения; уменьшение материальных затрат, которые несут участники дорожного движения и владельцы транспортных средств; повышение точности следования транспортных средств, движущихся по установленным маршрутам; улучшение экологической обстановки за счет сокращения задержек транспортных средств внутри сети; понижение аварийности на дорогах дорожно-транспортной сети, покрываемой ИГДД; устойчивое и безотказное функционирование ИГДД.

Таким образом, из изложенного материала следует, что в настоящее время в мире остро стоит проблема обеспечения безопасности дорожного движения, требующая принятия срочных и эффективных мер по ее решению. Вместе с тем создание сегментов интеллектуальной инфраструктуры дорожного движения на основе современных и перспективных компьютерных технологий является объективной необходимостью и неизбежно, о чем свидетельствуют результаты различных исследований во многих странах мира.

Список литературы

1 Roads, Injuries, Traffic: Data and statistics [Электронный ресурс] // Official site WHO, 2011. – Режим доступа : <http://www.who.int/research/en/>. – Дата доступа : 25.10.2022.

2 Дерех, З. Д. Наукові шляхи реалізації програми забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні / З. Д. Дерех, Є. О. Рейцен // Безпека дорожнього руху України. – 1999. – № 1 (2). – С. 19–23.

3 Душник, В. Ф. До питання організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі / В. Ф. Душник // Безпека дорожнього руху України. – 2003. – № 1–2 (15). – С. 39–41.

4 Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения / Ю. А. Кременец. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.

5 **Хаханов, В. И.** Зеленая волна – облако мониторинга и управления дорожным движением (Green wave traffic on cloud) / В. И. Хаханов // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2012. – Вып. 160. – С. 4–21.

6 Оборудование для управления дорожным движением [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Система Сервис». – Харьков, 2014. – Режим доступа : <http://komkon.ua/product/rtc/>. – Дата доступа : 25.10.2022.

7 Аппаратно-программный комплекс оборудования для управления дорожным движением [Электронный ресурс] // Официальный сайт Киевской АК «Росток». – К., 2014. – Режим доступа : <http://rostok-elekom.com/>. – Дата доступа : 25.10.2022.

8 **Белов, Ю. В.** Трехуровневая архитектура системы распределенной автоматизации управления дорожным движением / Ю. В. Белов, О. А. Гузь, А. Н. Полетаikin // Обеспечение безопасности и комфорта дорожного движения: проблемы и пути решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Х. : ХНУРЭ, ХНАДУ, 2011. – С. 123–126.

9 Продукты для промышленной автоматизации: Интерактивный каталог СА 01/2014. – Сименс, Украина, Департамент IA&DT.

10 Esker F. RFID in Vehicles / F. Esker. – NetWorld Alliance LLC. – 2012. – 143 p.

11 **Леоненков, А. В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и flzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ Петербург, 2005. – 736 с.

УДК 629.3

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ: АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ОТКАЗЫ

С. А. РЫНКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет, г. Могилёв

Механические и гидромеханические передачи мобильных и технологических машин работают в сложных условиях эксплуатации [1]. Долговечность этих машин, т. е. их способность длительное время сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при определенных условиях эксплуатации, определяется двумя основными условиями: физическим либо моральным износом. Физический износ наступает в том случае, когда дальнейший ремонт и эксплуатация машин и их важнейших механизмов становятся уже невыгодными, так как затраты превышают доход в эксплуатации. Моральный износ означает несоответствие параметров машины современным условиям их эксплуатации.

Предельное состояние механизмов и машин определяется неэффективностью их дальнейшей эксплуатации из-за старения и частых отказов или увеличения затрат на ремонт. В некоторых случаях критерием предельного состояния ремонтируемых изделий может быть нарушение требований безопасности (например, для транспортных объектов).