

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ТЕХНОЛОГИЙ 5G-V2X

Доктор техн. наук, профессор **Сафиуллин Р. Н.**,
аспирант **Беликова Д.Д.**, магистрант **Хаотянь Тянь**
(Санкт-Петербургский горный университет)

CONCEPTUAL APPROACHES TO CONSTRUCTION OF OPERATIONAL TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS WHEN INTRODUCING 5G-V2X TECHNOLOGIES

R.N. Safiullin, Doctor (Tech.), Professor,
D.D. Belikova, Postgraduate,
Haotian Tian, Master's Student
(St. Petersburg Mining University)

Системы оперативного управления движением транспортных средств, технологии 5G-V2X, технические объекты, идентификация, автономные транспортные средства.

Operational control systems for vehicle traffic, 5G-V2X technologies, technical objects, identification, autonomous vehicles.

Определены концептуальные подходы по совершенствованию системы управления функциональными возможностями интеллектуальных технических объектов и транспортных средств на автомобильной дороге. Предложена схема построения системы Smart Highway 5G V2X, учитывающая вероятностную природу системообразующих факторов. Представлена инфраструктура интеллектуальных транспортных систем на основе внедрения технологий 5G-V2X с целью совершенствования систем автоматизации и контроля движения на автомобильном транспорте. Обоснованы перспективные направления исследований по повышению функциональных возможностей программно-аппаратных комплексов при автономном движении транспортных средств на основе использования интеллектуальных автоматизированных систем. Разработана последовательность построения системы оперативного управления автономным движением при эксплуатации грузовых транспортных средств в составе колонны, а также определены временные интервалы передачи данных при их движении.

Conceptual approaches to improving the system for managing the functionality of intelligent technical objects and vehicles on the road have been determined. A scheme for constructing a Smart Highway 5G V2X system is proposed, taking into account the probabilistic nature of the backbone factors. The ITS transport infrastructure is presented based on the implementation of 5G-V2X technologies in order to improve automation and traffic control systems in road transport. Prospective directions of research on increasing the functionality of software and hardware systems for autonomous movement of vehicles based on the use of intelligent automated systems are substantiated. A sequence of constructing a system of operational control of autonomous movement during the operation of freight vehicles in a convoy has been developed, and the time intervals for data transmission during their movement have been determined.

Введение. Темпы развития интеллектуальных систем управления технических объектов, в том числе в транспортной сфере, систем автономного вождения автомобильной техники в мире достигли высокого уровня, в России данное направление также набирает все большие обороты. Актуальность рассмотренной темы обусловлена тем, что применение систем автоматизации, позволяющих эффективно управлять системами транспортной инфраструктуры, движением транспорта, востребовано как при усовершенствовании существующих систем, так и при проектировании новых. Основой актуальных теоретических исследований являются нерешенные вопросы по оперативности передачи необходимых данных на транспортное средство во время его движения и снижению издержек в процессе эксплуатации автоматизированных технических систем, и как следствие, снижение негативного влияния на окружающую среду. В условиях интенсивно изменяющихся количественных и структурных параметров интеллектуальных технических средств, целеполагающи-

ми стали как федеральные, так и региональные целевые программы модернизации систем в рамках приоритетных направлений развития Указов Президента РФ № 642 от 1 декабря 2016 г. «О стратегии научно-технологического развития РФ», № 204 от 7 мая 2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 года».

Постановка проблемы. Отсутствие единых требований и стандартов к применяемым средствам и вновь создаваемым автоматическим системам контроля движения транспортных средств, приводит к нечеткому пониманию концепции их развития. Вместе с появлением нового оборудования и развитием передовых технологий, таких как 5G и V2X, появляется необходимость утверждения соответствующих технических стандартов интеллектуальных сетей. Вопросы эффективного внедрения передовых технологий V2X несомненно связаны с актуальными нерешенными вопросами повышения безопасности дорожного движения, оптимизации маршрутов движения транспортных средств,

улучшения качества транспортного обслуживания и повышения уровня взаимодействия между государственными органами контроля движения (ГИБДД, Ространснадзор) и водителями транспортных средств. Создание новых методов, алгоритмов и архитектуры построения интеллектуальных систем управления движением транспортных средств при внедрении технологий 5G-V2X является сложной задачей, требующей решения. Сложившаяся ситуация в сфере организации автомобильных перевозок сопряжена со значительным возрастающим объемом выполняемых задач и определяет необходимость создания телематической автоматизированной системы управления контролем движения транспортных средств с учетом внедрения современных передовых технологий 5G-V2X, формирование которой только организационно-распорядительными методами без привлечения научного потенциала невозможно. Объективная необходимость научного обоснования и создания методологии инновационных технических и технологических решений построения данной системы при различных «сценариях» управления требует научного анализа и поиска резервов повышения эффективности перевозок на основе совершенствования системы управления контролем движения на автомобильной дороге по всем направлениям. Одним из критериев перехода на новый уровень в развитии автономного вождения транспортных средств является повсеместное внедрение непрерывного мониторинга функционирования машин и условий их эксплуатации на основе разработки и внедрения интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Такие системы обеспечивают возможность интеллектуального взаимодействия с единичными транспортными средствами или с транспортным потоком посредством информационно-телекоммуникационных технологий с целью повышения эффективности использования наземного транспорта [1].

Внедрение современных технологий Smart Highway 5G-V2X на автомагистрали предполагает многоотраслевую интеграцию в транспортной отрасли, электронной промышленности, информационной индустрии, транспортной отрасли, интернет-индустрии и др. Таким образом, необходимо сформировать единый подход к обоснованию требований к построению телематической автоматизированной системы контроля движения транспортных средств, как системе средств измерения – идентификация – контроль движения АТС, особенно в городских и междугородних сценариях. Исследования показали, что для формирования требований к контрольно-измерительным средствам системы целесообразно использовать методологию, заключающуюся в выборе из сформированной области поиска оптимального решения с учетом оценки технико-экономических показателей, соответствующей заданному концептуальному подходу в этой области.

По сравнению со сложными дорожными условиями в городских условиях транспортная среда на скоростных автомагистралях относительно замкнута и проста, что является одним из типичных сценариев, наиболее подходящих для определения приоритетности применения технологии и решений V2X. Современные скоростные автомагистрали имеют значительные недостатки такие,

как низкая оснащенность техническими средствами контроля движения и оперативность передачи данных по каждому отдельному транспортному средству.

Анализ зарубежного опыта коммерческого использования сотовых сетей 5G и исследований применения технологий 5G-V2X позволил выявить развитие новых перспективных технологий LTE-V2X, которые стали важными направлениями развития интеллектуальных систем управления транспортными средствами на автомобильной дороге. К скоростным автомагистралям предъявляются более высокие требования к безопасности дорожного движения транспортных средств, что в свою очередь обязывает создать на автомобильной дороге адаптивную систему управления с учетом координации движения транспортных средств на автомагистрали в реальном времени. Применение новых технологических решений по внедрению систем 5G-V2X в транспортной отрасли обеспечит значительные преимущества, позволяющие получить большие экономические выгоды, что повышает актуальность направления исследований в этой области.

Метод и результат. В процессе исследования, установлено, что система Smart Highway 5G V2X должна состоять из инфраструктуры интеллектуальной транспортной системы, системы управления информационной безопасностью, системы управления чрезвычайными ситуациями, адаптивную оперативную систему управления движением и анализа ситуационных решений. При внедрении технологий 5G-V2X необходимо реализовать три основные технические возможности: «идентификация, связь и обработка данных». Эти три уровня предусмотрены в автомобиле, автомобильной дороге и системе управления движением, как показано на рис. 1.

Уровень контроля движения транспортного средства включает в себя мультисенсорную идентификацию транспортного средства и всей площади автомобильной дороги. В мультисенсорную идентификацию транспортного средства, в основном, включает программно-аппаратные комплексы, радары миллиметрового диапазона, лидары, ультразвуковые радары, автомобильные электронные знаки и другое оборудование, такие как светофоры, экраны управления движением и знаки.

Уровень передачи данных включает в себя общедоступную сеть 4G, 5G и проводную оптоволоконную сеть. Помимо развертывания элементов сети 5G устанавливаются различные антенные устройства на основе радиочастотных технологий RFID и станции управления высокоточным позиционированием.

Уровень обработки данных предназначен для эффективного взаимодействия системы 5G-V2X и включает в себя бортовые и придорожные программно-аппаратные комплексы, а также информационные блоки, которые устанавливаются в транспортных средствах и автомобильной дороге соответственно.

Транспортная инфраструктура ИТС на основе технологии 5G-V2X, применяемая на автомобильной дороге, как пример размещения технических объектов представлена на рис. 2. Все представленные подсистемы ИТС обеспечивают безопасность и повышение эффективности перевозочной деятельности транспортных средств при различных сценариях движения АТС.



Рис. 1. Схема построения системы Smart Highway 5G-V2X

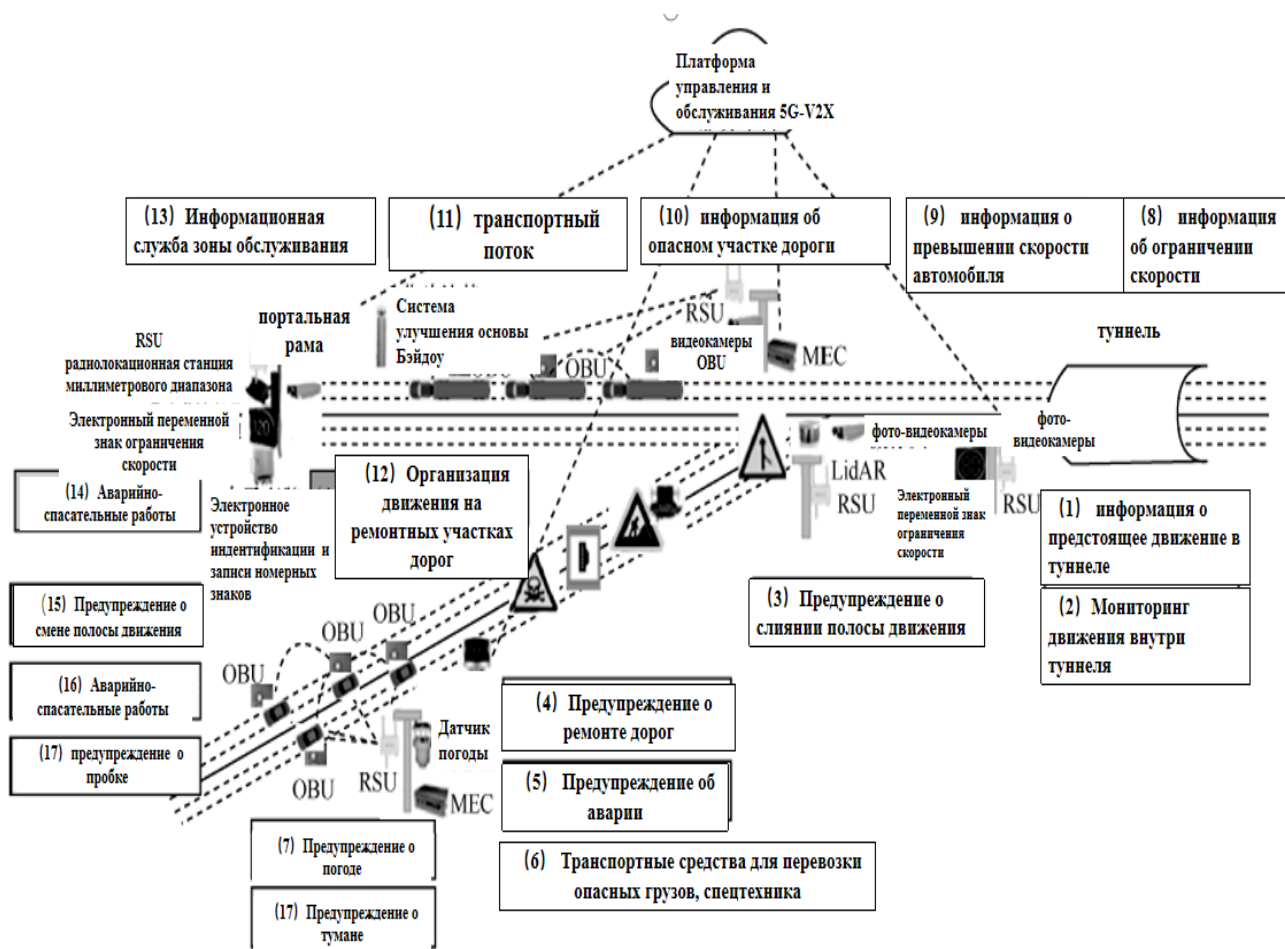


Рис.2. Транспортная инфраструктура ИТС на автомобильной дороге

Данная схема построения системы оперативного управления движением транспортных средств при внедрении технологий 5G-V2X на скоростной автомагистрали в первую очередь ориентирована на решение вопросов оптимального движения при выезде на скоростную автомагистраль, в тоннели, станции взимания платы и зоны обслуживания. При этом программно-аппаратные комплексы с радаром миллиметрового диапазона используются для прямых дорог, а лазерные радары используются для пандусов или въездов в тоннели в шахматном порядке по обе стороны дороги, другое оборудование распределяется парами.

Система оперативного управления движением транспортных средств при внедрении технологий 5G-V2X на автомобильной дороге может обеспечивать позиционирование, управление и наведение на маршрут движения АТС при осуществлении грузовых перевозок

на всех полосах движения автомобильной дороги. Информация о местоположении транспортного средства может быть получена с помощью устройств определения местоположения Бэйдоу и системы 5G-V2X с целью контроля движения транспортных средств по установленному маршруту, а также для отправки команд управления транспортным средствам через придорожные устройства в реальном времени на опасных участках дороги. Таким образом, данная система обеспечивает автономное движение грузовых транспортных средств.

При движении нескольких грузовых транспортных средств в колонне по заданному маршруту, необходимо задать единую систему оперативного управления с аналогичным поведением при движении, на основе беспроводной системы передачи данных 5G-V2X и технологии автоматического вождения (рис. 3).

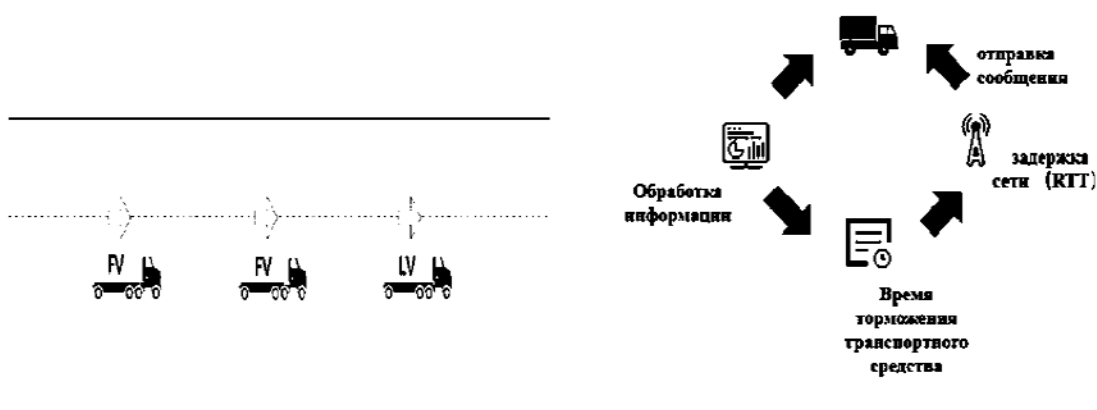


Рис.3. Схема движения колонны грузовых транспортных средств ($V=\text{const}$)

Для обеспечения автономного движения колонны грузовых транспортных средств на определенном маршруте при постоянной скорости движения ($V=\text{const}$) необходимо учитывать множество временных интервалов передачи данных по идентификации АТС, торможения, сетевой задержки и т.д.

Заключение: Реализация технологий 5G-V2X при автономном движении автомобильных транспортных средств обеспечит экономическую выгоду. Например, автономное движение колонны грузовых транспортных средств приведет к снижению количества водителей, что в свою очередь повысит эффективность транспортных компаний на основе уменьшения затрат на рабочую силу. Кроме того, на основании проведенных исследований установлено, что при автономном движении колонной грузовых транспортных средств при постоянной скорости значительно уменьшается расход топлива (примерно на 10 - 15%) за счет снижения коэффициента сопротивления воздуха, а также позволит грузовым автомобилям двигаться с меньшим расстоянием между ними, что может освободить больше полос для проезда других транспортных средств, увеличить пропускную способность скоростной автомагистрали, значительно уменьшить загруженность дорог и повысить эффективность транспортировки, снизить нагрузку на автомобильные дороги.

Для построения системы оперативного управления движением транспортных средств при внедрении технологий 5G-V2X на автомобильной дороге необходимо

исследовать возможности программно-аппаратных комплексов на различных уровнях «идентификации-решения-контроля». Наиболее важными исследованиями в этой области является направление повышения технической возможности идентификации технических объектов, оперативности передачи данных с учетом координации дорожной инфраструктуры и принятие ситуационных решений на основе причинно-следственных связей и прогнозирования движения на различных уровнях; управление отдельного транспортного средства, совместного управления и глобального контроля. Исходя из этого, в связи с различными возможностями идентификации технических объектов, принятия решений и контроля движения транспортных средств, автомобильные дороги могут быть разделены на разные уровни управления интеллектуальными системами, что обуславливает построение перспективных умных автомагистралей.

Литература

1. Системы автоматизации контроля движения на автомобильном транспорте. Монография. Под редакцией Р.Н. Сафиуллина. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. ISBN 978-5-8114-3655-22019, соавторы: Резниченко В.В., Калужный А.Ф.
2. Методы решения задач оптимального планирования в транспортно-логистических системах МТО. Монография. Под редакцией Р.Н. Сафиуллина. — Санкт-Петербург; ВАМТО, 2020 - С. 248.

3. R.N. Safiullin The Concept of Development of Monitoring Systems and Management of Intelligent Technical Complexes. \ A S.Afanasyev, V. V. Reznichenko\Journal of Mining Institute. 2019. Vol. 237, p. 322-330. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.322 S. 322-330.

4. Safiullin, R.N Modeling and optimization of processes of transportation of heavy cargoes based on the automation of monitoring systems for the motor vehicles movement. Safiullin, R.N., Reznichenko, V.V., Gorlatov, D.V. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 378(1), 012069.

5. R.N. Safiullin. Methodical approaches for creation of intelligent management information systems by means of energy resources of technical facilities. Safiullin, R., Marusin, A., Safiullin, R., Ablyazov, T.E3S Web of Conferences, 2019, 140, 10008 EЕCE-2019.

6. Method to evaluate performance of measurement equipment in automated vehicle traffic control systems.Safiullin, R., Fedotov, V., Marusin, A.Transportation Research Procedia, 2020, 50, с. 20–27.

7. Чэнь Шань, Ху Цзинь Лин. LTE-V2X технологии, стандарты и приложения[J]. Телекоммуникационные науки, 2018,34(4): 1-11.

Сведения об авторах:

Сафиуллин Равиль Нуруллович, профессор кафедры «Транспортно-технологические процессы и машины».

Контактный телефон: +7 911 198 95 66.

E-mail: safravi@mail.ru.

Беликова Дарья Дмитриевна, аспирант на кафедре «Транспортно-технологические процессы и машины».

Контактный телефон: +7 911 213 85 27.

E-mail: Belikova.daria@gmail.com.

Хаотянь Тянь, магистрант по кафедре «Транспортно-технологические процессы и машины».

Контактный телефон: +7 911 198 95 66.

E-mail: safravi@mail.ru.

Все авторы - Санкт-Петербургский горный университет.

Адрес: 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2.