

УДК: 656

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

**Охотников А.Л.**

Заместитель начальника Департамента информационных технологий - начальник Отдела стратегического развития, АО «НИИАС»,
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

Аннотация

В статье исследуются информационные модели, которые применяются в системах технического зрения. Раскрывается содержание систем технического зрения в аспекте их принадлежности к области информационных технологий. Описаны основные информационные модели, применяемые в системах технического зрения. Это модели информационной ситуации четырех типов. Системы технического зрения применяют как средство для поддержки принятия решений машинистом и как средство управления беспилотным транспортом. Исследованы типы датчиков, применяемые в системах технического зрения. Отмечена целесообразность применения искусственной нейронной сети для ситуационного анализа. Показано различие между стационарными, мобильными и бортовыми системами технического зрения. Раскрыты основные функции бортовой системы технического зрения.

Ключевые слова:

транспорт, система технического зрения, бортовые системы, информационные ситуации, сенсоры.

INFORMATION MODELS FOR MACHINE VISION SYSTEMS

Okhotnikov A.L. Deputy Head of Department, Head of Strategic Development, JSC «NIIAS», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia.

Annotation

The article examines the information models used in machine vision systems. The content of machine vision systems is disclosed in terms of their belonging to the field of information technology. Two main subsystems are described. The main information models used in machine vision systems are described. These are models of the information situation of four types. Machine vision systems are used as a means of supporting the actions of the driver and as a means of controlling unmanned transport. The types of sensors used in machine vision systems are studied. The feasibility of using an artificial neural network for situational analysis is noted. The difference between stationary, mobile and on-board machine vision systems is shown. The main functions of the on-board machine vision system are described.

Keywords:

transport, machine vision systems, on-board systems, information situations, sensors.

Введение

Современные информационные системы технического зрения (СТЗ) представляют собой сложный программно аппаратный комплекс, как правило включающий две подсистемы. Первая подсистема (сенсорная) содержит датчики различной физической природы. Вторая подсистема (управленческая) содержит вычислитель со специальным программным обеспечением (ПО).

Первая подсистема СТЗ сканирует окружающее пространство по ходу движения транспортного объекта (ТО) для анализа информационной ситуации [1, 2], влияющей на его движение, определяет объекты, которые видны в зоне прямой видимости.

Вторая подсистема включает специальное ПО, часто искусственную нейронную сеть (ИНС). Она обрабатывает сигналы, полученные от датчиков, образующих информационно-измерительные системы [3] для формирования модели информационной ситуации на пути движения ТО. Эта информация также служит основой формирования информационной модели сценария движения и формирования информационной модели решения для управления ТО.

Полученные модели решений и модели сценариев управляющих воздействий используются для информационной поддержки действий машиниста (при ручном управлении) или оператора (при дистанционном управлении). При беспилотном движении [4] модели используют для субсидиарного [5] (самостоятельного) реагирования на ситуацию и автоматического изменения режима движения ТО.

Таким образом, СТЗ используют не информацию как некое информационное множество, а различные информационные модели для анализа и принятия решений. СТЗ на транспорте применяется в первую очередь для анализа и последующего принятия решений, а не для простой фиксации событий и фактов. Интегральное применение информационных технологий [6] привело к созданию и применению специальных информационных моделей для управления транспортом. Это дает основание утверждать, что современное управление транспортом является модельным, то есть основано на применении различных информационных моделей.

Модели в транспортных системах

Развитие интеллектуальных транспортных систем характеризуется динамикой изменений ситуации и неопределённостью. Динамика обусловлена ростом скоростей и наличием множества внешних факторов. Неопределённость вызвана большим количеством ситуаций, которые не всегда явно можно определить. Если переходить к беспилотному движению и управлению с машинистом, то следует отметить что в обоих случаях применяют СТЗ, состоящие из различных сенсоров (видеокамеры, тепловизоры, ультразвуковые датчики и лидары), набор которых, их количество и характеристики выбираются исходя из поставленных перед подвижным составом

(ПС) задач.

Видеокамеры позволяют полученное динамическое оптическое изображение преобразовать в цифровой поток видеоданных, после обработки и коррекции которого путем обработки с помощью различных программных средств и методов улучшения и преобразования изображений можно получить точную визуализацию объектов как на больших расстояниях, так и при не самых благоприятных погодных условиях. Основными показателями функционирования видеокамер по стандарту EMVA1288 [7] являются разрешение матрицы, размер пикселя, динамический диапазон, яркость, резкость, квантовая эффективность, шум и соотношение сигнал/шум.

Тепловизор или инфракрасная камера служит для определения спектра температуры исследуемого объекта, тепловое излучение которого отображается разными цветами (от красного, желтого и оранжевого цветов при высокой температуре до синего и черного при низкой). Такая система дает возможность обнаруживать объекты даже в условиях плохой видимости за счет их теплоотдачи. К основным показателям работы тепловизора относятся разрешение матрицы, ее чувствительность, оптические параметры (фокусное расстояние и угол зрения), точность измерения и спектральный диапазон.

Лидары способны обнаруживать и определять расстояние до объекта с помощью отраженной световой волны – пучка света (лазера). В них применяется технология получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах (рис.1). Это активные дальнометры оптического диапазона, основными характеристиками которых являются дальность обнаружения при разной отражательной способности воздуха, диапазон точности определения объекта и угловых координат, а также длина волны лазерного излучения. На рис.1. приведен пример снимка, полученного с помощью лидара, в виде облака точек.

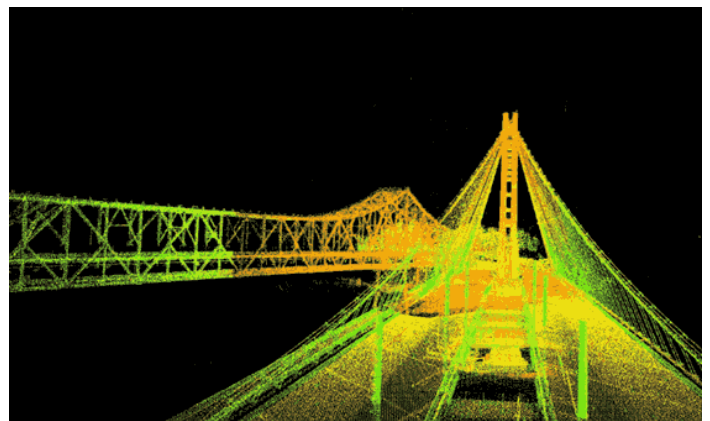


Рисунок 1. Облако точек лидара

Принцип работы лидара основан на фиксации отражения оптической волны от поверхности объекта. При известной скорости света он позволяет определить точное расстояние (до 0,01 м) и

направление на объект. Датчик оценивается по дальности обнаружения, углу зрения, длине волны излучения и разрешению.

При управлении поездом, на котором нет СТЗ, машинист осуществляет рецепцию информации за счет восприятия существующей ситуации [8]. Визуализируя параметры внешней ситуации из кабины локомотива, он принимает управляющие решения, используя свои когнитивные способности [9]. Зрительный аппарат человека определяет яркость, форму, цвет, удаленность, объемность, качество, а также размеры объектов. На небольших расстояниях, как правило, ему это удается делать лучше, чем существующим техническим системам. Однако эти способности сильно зависят от его физического и эмоционального состояния, влияния внешней среды. При возрастании скоростей и необходимости решения многокритериальных задач, особенно при неблагоприятных погодных условиях, нагрузка на машиниста резко увеличивается, что может негативно сказываться на физическом состоянии человека и в конечном

итоге на безопасности движения поезда [9].

У СТЗ когнитивных проблем обычно не возникает – она действует эффективней человека в условиях плохой видимости (снег, туман, дождь), когда человеческий глаз не способен что-либо разглядеть. Система, снабженная датчиками, не устает, не отвлекается и постоянно контролирует окружающее пространство (информационную ситуацию) вокруг ТО при его движении [10]. Однако и для нее фактор оптической прозрачности играет роль.

Информационная интеллектуальная система на базе специального вычислителя позволяет обрабатывать большой объем данных от аппаратных средств и с помощью математических моделей. Интеллектуальная система использует обучаемую нейронную сеть и дает необходимую информацию для поддержки принятия решения в любое время суток о всех объектах, которые она идентифицировала.

Общий алгоритм работы СТЗ приведен на рис.2.

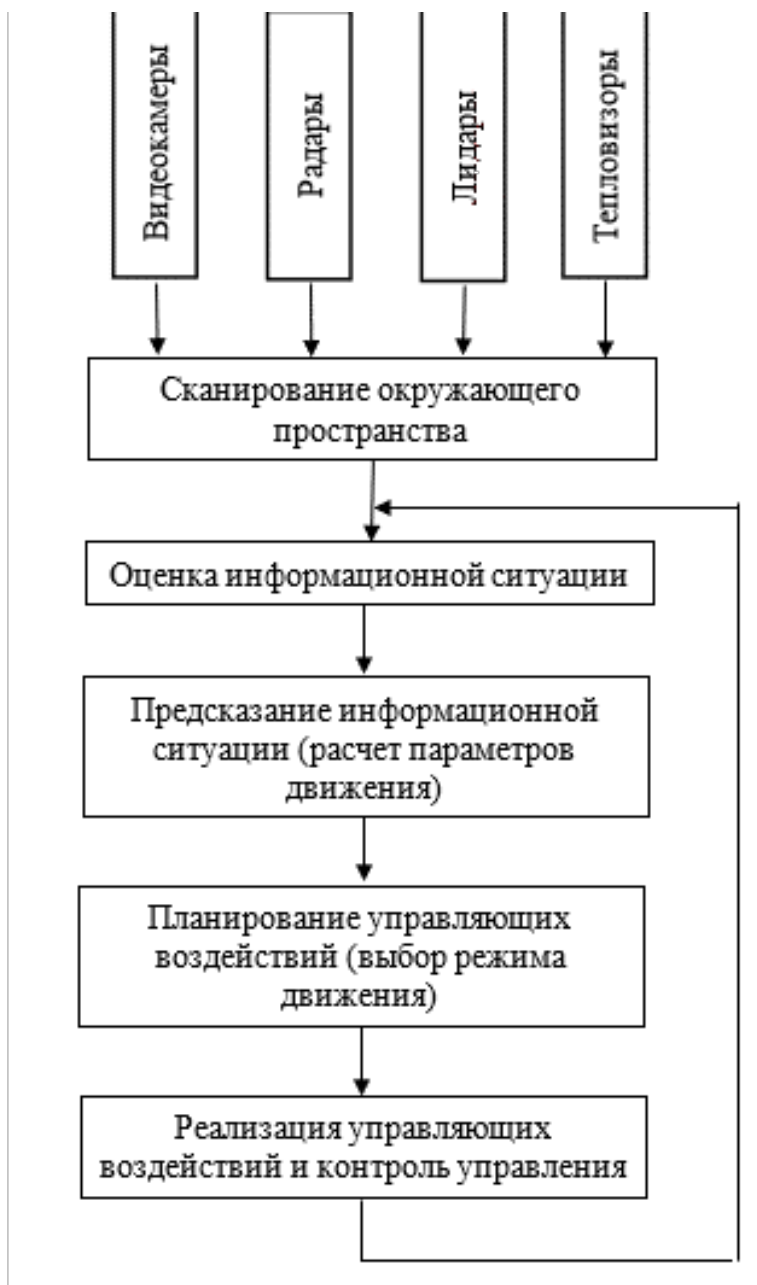


Рисунок 2. Алгоритм работы СТЗ

Необходимо различать инфраструктурные (стационарные, платформенные и мобильные) СТЗ и бортовые СТЗ. Стационарная СТЗ находится на инфраструктуре и может быть закреплена на неподвижном объекте (мачте, столбе), платформенные расположены на остановочных пунктах, мобильные СТЗ являются перемещаемыми автономными системами, например, на базе беспилотного летательного аппарата. Бортовые СТЗ являются частью системы наблюдения и управления ТО.

Бортовая СТЗ – комплекс аппаратно-программных средств, устанавливаемых на борту локомотива (электропоезда) для обеспечения безопасного движения поезда как в автоматизированном, так и автоматическом режиме управления за счет снижения человеческого фактора и повышения качества обнаружения объектов-препятствий в любых погодных условиях на участках пути с достаточной видимостью (наблюдаемостью).

Основные функции бортовой системы технического зрения:

- обнаружение пути следования;
- обнаружение препятствий в габарите подвижного состава (красная зона);
- обнаружение и распознавание объектов, представляющих потенциальную угрозу (желтая зона);
- обнаружение видимых сигналов (огни светофоров, сигнальные знаки, диски, щиты, ручные сигналы работников железнодорожного транспорта и т.д.).

Передача информации об обнаруженных препятствиях или сигналах в микропроцессорную систему управления и диагностики (МПСУИД) [11], систему безопасности БЛОК и центр дистанционного контроля и управления (ЦДКУ) для принятия мер по снижению скорости (служебное или аварийное торможение), остановке или выполнению иных требований видимых сигналов и/или решений машиниста-оператора ЦДКУ.

Обнаружение препятствий должно осуществляться на дистанции, превышающей тормозной путь поезда при его текущей скорости движения на участке пути. Бортовая СТЗ должна включать в себя несколько зон обнаружения препятствий, определяемых дальностью работы датчиков СТЗ. Для различных типов ПС эти зоны имеют различные расстояния, исходя из условий эксплуатации и скорости данного типа ПС.

Рассмотрим расположение датчиков и секторы обнаружения препятствий на примере бортовой системы технического зрения (БСТЗ) электропоезда «Ласточка».

БСТЗ устанавливается непосредственно на подвижной состав (в каждый головной вагон электропоезда) и осуществляет контроль свободности пути перед подвижным составом на дистанции не менее 600 метров (рис.3).

В состав бортовой системы технического зрения входит следующее оборудование:

- камеры визуального спектра (видеокамеры – моно и/или стерео);
- камеры инфракрасного спектра (тепловизио-

ры);

- лазерные сканеры (лидары);
- ультразвуковые датчики;
- вычислитель.



Рисунок 3. Система технического зрения для БОП на ЭС2Г-136

БСТЗ имеет модульную архитектуру и уникальное программное обеспечение. Система в конечном исполнении будет включать в себя 4 УЗ-датчика, 2 лидара, 2 тепловизора, 8 видеокамер. СТЗ должна работать в любых погодных условиях (дождь, снегопад, туман, в ночное время) при диапазоне температур от -40 до $+50$ °С. Сенсоры бортовой СТЗ контролируют разные зоны по дальности действия датчиков (рис.4).

Дальняя зона (не менее 600 м) контроля реализуется за счет монокулярной камеры со 100 мм объективом и стереокамеры, построенной на базе двух камер с объективом 50 мм.

Средняя зона (не менее 300 м) контролируется стереокамерой на базе двух камер с 25 мм объективом.

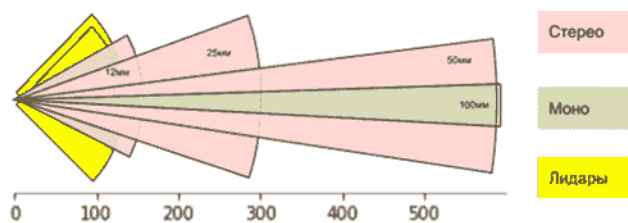


Рисунок 4. Дальность датчиков БСТЗ электропоезда и секторы обнаружения препятствий для каждого вида датчиков

Ближняя зона (до 150-200 м) контролируется стереокамерой на базе двух камер с 12 мм объективом и двумя лидарами. Тепловизор обычно используется на средней дистанции для определения препятствий в плохих погодных условиях

(на рисунке не указан). Для надежности работы реализовано взаимное перекрытие между ближней и средней зонами, средней и дальней зонами. Обработка данных с сенсоров технического

зрения осуществляется в специальном вычислителе. На рис.5 дана Блок-схема работы бортовой СТЗ для обнаружения препятствий.



Рисунок 5. Блок-схема работы бортовой СТЗ для обнаружения препятствий

Алгоритм работы бортовой СТЗ можно описать следующим образом. В процессе функционирования система технического зрения электропоезда осуществляет контроль всех объектов, находящихся в ее поле зрения. При этом для СТЗ определены три зоны для обнаружения объектов-препятствий:

- охранная зона (соответствует габариту подвижного состава с заранее определенным допуском в большую сторону 3,0-3,5 м) – красная зона;
- зона бдительности (находится в непосредственной близости от рельсового пути, но за пределами охранной зоны +2,5-3 м, определяется исходя из средней путевой скорости движения по данному участку) – оранжевая зона;
- зона безопасности (за пределами зоны бдительности) – желтая зона.

Информация об обнаруженных объектах пе-

редается по интерфейсу Ethernet в систему управления электропоезда МПСУиД, в бортовое устройство радиосвязи, которое преобразует информацию и передает ее в устройство безопасности через CAN-шину. Кроме того, указанная информация передается в модуль связи, синхронизации и дистанционного управления (МССДУ) для передачи по беспроводному каналу связи в ЦДКУ.

МПСУиД на основании полученной информации осуществляет непосредственное воздействие на органы управления электропоезда в случае обнаружения объекта-препятствия:

- в охранной зоне – осуществляет подачу звуковых (тифон и свисток) и световых (переключение режимов работы прожектора) сигналов, а также прицельную остановку электропоезда перед препятствием;
- в зоне бдительности – осуществляет подачу

звуковых (тифон и свисток) и световых (переключение режимов работы прожектора) сигналов, а также снижение скорости и проследование головным вагоном препятствия с уменьшенной скоростью;

- в зоне безопасности – осуществляет подачу звуковых (тифон и свисток) сигналов без снижения скорости.

Если СТЗ поезда определяет видимые сигналы (знаки, светофоры) – осуществляет выполнение требований указанных сигналов (например, опускание токоприемника, снижение скорости, остановка, подача звукового сигнала и т.д.).

Устройство безопасности БЛОК осуществляет контроль за соблюдением МПСУиД скорости на основе данных, полученной от бортовой электронной карты и информации от СТЗ. В случае, если МПСУиД после получения информации о наличии препятствия не принимает никаких мер по снижению скорости, устройство безопасности БЛОК применяет автостопное торможение.

В случае автоматического управления переданные в ЦДКУ данные об обнаруженном препятствии направляются машинисту-оператору, ответственному за управление данного электропоезда на участке, где обнаружено препятствие. На основании полученной информации машинист-оператор может:

- перевести электропоезд на режим дистанционного управления и осуществлять ведение поезда вручную;

- дать разрешение системе управления на продолжение движения в автоматическом режиме (в случае, если обнаруженное препятствие было ложным или было устранено после остановки электропоезда);

- направить на место остановки электропоезда оперативный ремонтный персонал или сотрудников транспортной безопасности.

Описанный алгоритм работы бортовой СТЗ лег в основу патента № 042033 ОАО «РЖД» [12].

Ситуационное моделирование

Датчики и сенсоры СТЗ формируют модель информационной ситуации [13], которая служит основой управления. Модель информационной ситуации является аналогом лидарного снимка (рис.1) в пространстве параметров.

Важными факторами информационной ситуации являются модели информационных отношений [14]. Модели информационных отношений создают баланс между объектами информационной ситуации. Реальная информация о ситуации всегда содержит неопределенность, которая зависит от условий движения и внешней среды. Транспортные потоки бывают гетерогенны. Снижение гетерогенности транспортных потоков осуществляют за счет модели информационной ситуации.

Для управления с использованием модели информационной ситуации применяют ситуационный анализ [15]. Его особенностью является использование пространственной информационной ситуации [16]. При управлении используют еще

одну модель параметрической информационной ситуации [17].

Для управления движением ПС необходимо использовать разные типы информационной ситуации.

Первый тип информационной ситуации – начальное стационарное окружение неподвижного объекта.

Второй тип информационной ситуации – это скользящее окружение объекта при его движении. Первый и второй тип являются локальными ситуациями.

Третий тип информационной ситуации – это линейный объект, или маршрут.

Четвертый тип ситуации – это маршрут плюс окружающие подвижные объекты. Такая ситуация характерна для транспортных кибер-физических систем (ТКФС) и/или объектов «Цифровой железной дороги» [18]. Этот тип можно отнести к комплексной информационной ситуации. Управлением ТО в такой ситуации занимается вычислитель и искусственный интеллект.

Заключение

Для решения задач управления в автономном режиме железнодорожным ПС целесообразно использовать совместно бортовую и инфраструктурную СТЗ, состоящую из видеочамер, тепловизоров, лидаров, УЗ-радаров и вычислителя.

Для инфраструктурной СТЗ (стационарной и платформенной) целесообразно дополнительное использование извещателей, которые предупреждают об опасности не только машиниста путем подачи звукового и светового сигнала на опасном участке (платформе), но и информируют таким образом человека или животное о приближении поезда. Такое решение снижает вероятность наезда поезда на нарушителя, который оказался на путях или в непосредственной близости к ним.

Предложенная структура и состав бортовой СТЗ позволяет решать задачи определения, сопровождения и идентификации объектов-препятствий с помощью различных датчиков СТЗ и специального вычислителя с помощью алгоритма комплексирования сенсорных данных от всех датчиков, а также может обеспечивать решение навигационной задачи для ТО.

В алгоритме комплексирования признаки препятствий определяются на уровне каждого сенсора СТЗ в отдельности и по ним принимается итоговое решение на основе анализа истории признаков с разных сенсоров. Такой подход видится наиболее точным поскольку каждая камера в отдельности может распознавать и колею, и объекты, после чего сопоставить одни с другими, что будет достаточно точным для определения и идентификации препятствий. Объекты с лидара бортовой СТЗ сопоставляются с колеей на цифровой модели пути.

Определено, что для дальнейшего внедрения технологии управления беспилотными поездами необходимо формирование нормативной базы, в которой важно указать требования к системам технического зрения и высокоточного позици-

онирования, методикам тестирования, доказательству уровня функциональной безопасности, а также к процедурам допуска к эксплуатации беспилотных поездов с использованием технологий технического зрения и высокоточного позиционирования.

Список литературы

1. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.
2. Титов Е.К. Многоаспектность информационной ситуации // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). - С.101-106.
3. Цветков В.Я. Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 94 с.
4. Dolgy A.I., Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic in process of unmanned vehicle operation // В сборнике: AIP Conference Proceedings. Melville, New York, United States of America, 2021. С. 50059.
5. Лёвин Б. А, Цветков В. Я., Дзюба Ю. В. Субсидиарное управление на железной дороге // Мир транспорта. - 2019. - Т. 17. - №4 (83). - С.22-35.
6. Лёвин Б.А. Информационное моделирование при управлении транспортом // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.50-54.
7. Стандарт EMVA1288 // URL:/https://www.emva.org/wp-content/uploads/EMVA1288-3.0.pdf (Дата обращения 25.02.2024).
8. Цветков В.Я. Рецепция информации // Образовательные ресурсы и технологии. - 2016. - 1 (13). - С.121-129.
9. Попов, П. А. Сопоставление возможностей человека и машины в восприятии окружающего мира / П. А. Попов, В. Л. Дашонок // Железнодорожный транспорт. - 2019. - № 8. - С. 44-46.
10. Попов, П.А. На пути к беспилотному движению // Автоматика, связь, информатика. - 2017. - № 10. - С. 16-17.
11. Патент на полезную модель № 95295 U1 Российская Федерация, МПК В60L 15/38. микро-процессорная система управления и диагностики тепловозов с функцией автоведения: № 2009148125/22: заявл. 16.02.2010: опубл. 27.06.2010 / М. В. Федотов, С. И. Ким, А. А. Пронин, Л. М. Воронкова; заявитель ОАО «РЖД».
12. Патент № 042033. Бортовая система технического зрения локомотива для определения и идентификации препятствий: заявл. 04.02.2021: опубл. 29.12.2022 / А.Л. Охотников, И. Н. Королев, И. А. Дейлид [и др.]; заявитель ОАО «РЖД».
13. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). - С.39-44.
14. Tsvetkov V. Ya. Information Relations // Modeling of Artificial Intelligence. 2015. № 4(8). - p.252-260.
15. Титов Е. К. Ситуационный анализ транспортных кибер-физических систем //Наука и технологии железных дорог. - 2022. - Т. 6. - №. 2 (22). - С. 23.
16. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. -4(14). - С.198-203.
17. Плотников С.Б. Параметрическая и пространственная информационная ситуация // ИТ – Стандарт. 2021. 3(28). С.40-45.
18. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61.