

# Эволюция систем управления на железнодорожном транспорте



**Д. В. Ефремов,**  
д. т. н., доцент,  
руководитель направления  
систем мониторинга  
и диагностики  
ООО «ЛокоТех-Сигнал»



**Г. В. Осадчий,**  
технический директор  
ООО НТЦ «Комплексные  
системы мониторинга»

Современные системы управления движением на железнодорожном транспорте находятся на весьма низком уровне автоматизации и системной интеграции, и без изменения концептуального представления о работе компонентов и подсистем качественный скачок невозможен. Предложены новые концепции «умных» систем управления железнодорожным транспортом и транспортным комплексом в целом.

При изучении специфики систем управления на железнодорожном транспорте, нельзя не отметить, что основные принципы и методы регулирования движения поездов были разработаны многие десятилетия назад, а современные системы управления — примитивная «мутация» зарекомендовавших себя (и не только в России) релейных систем управления [1]. Сегодня разработчики тиражируют типовые решения, отличающиеся малыми деталями и заменяющие релейный «мозг» системы управления на микропроцессорную и микроэлектронную «начинку», однако принципиально изменить подход к управлению не стремятся [2]. Причины этого, на наш взгляд, кроются не только в консерватизме и использовании отработанных принципов обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте. Почти нет ученых и инженеров, «одержимых» идеей совершенствования транспортной отрасли. Антиподом любого консерватора, отвергающего все новое и неизведанное, предстает всемирно известный изобретатель Илон Маск. Пока ученые разных стран оспаривают возможность внедрения его технологий в практику, он успешно реализует такие, казалось бы, немислимые проекты, как производство электромобилей, производство и запуск сверхтяжелых ракет. Кроме того, им предложена концепция вакуумно-левитационного транспорта [3, 4].

Настоящая статья раскрывает, по мнению ее авторов, перспективные концептуальные подходы к реализации систем управления на железнодорожном транспорте с учетом развивающихся информационных технологий.

## Современные системы управления

Принципы управления движением поездов на железнодорожном транспорте, заложенные в первой половине XX века, основаны на централизации управления стрелками и светофорами. Переход от механического управления с помощью рычагов и гибких, и жестких тяг через электромеханическое к электрическому управлению затянулся практически на 50 лет. Тотальное распространение полностью электрических систем централизаций стартовало после Первой мировой войны, с появлением и развитием релейных устройств автоматического действия [1].

Первая релейная система управления на отечественных железных дорогах, внедренная на станции Гудермес Северо-Кавказской железной дороги в 1934 г., была реализована на основе идей и схем известного специалиста в области сигнализации, централизации и блокировки Н. В. Лупала [5]. Эта система с так называемыми местными зависимостями и местным энергоснабжением (аппаратура управления и электропитания устанавливалась в непосредственной близости к децентрализованным и географически удаленным объектам) впоследствии была признана неэффективной и неудобной в использовании. Были разработаны принципы централизации зависимостей и энергоснабжения. Такой подход потребовал строительства центра управления каждой станцией (поста централизации) и реализации сложной кабельной сети, прокладываемой рядом с железнодорожным полотном и под верхним строением пути. От «мозга» станции, реализованного в виде релейного комплекса управления на посту централизации, через кроссовый статив кабельная сеть тянется ко всем объектам управления

и контроля, содержит разветвительные и соединительные муфты и подключается ко всем объектам автоматики, образуя «нервные окончания», «вены» и «сосуды» системы управления на станции. Этот остов, периферийные объекты и интеллектуальная оболочка и есть система управления движением.

С развитием техники и технологий, с появлением транзисторной, а затем микроэлектронной и микропроцессорной техники совершенствуется элементная база систем управления на железнодорожном транспорте. Но она совершенствуется разрозненно: отдельно эволюционируют устройства, расположенные в непосредственной близости к железнодорожному полотну (и даже частично совмещенные с верхним строением пути), отдельно развиваются системы управления.

Современный подход к созданию систем управления следующий: на основе принципа централизации зависимостей и энергоснабжения, при использовании кабельных сетей релейный «мозг» системы автоматического управления меняется на микроэлектронный и микропроцессорный [6, 7]. Для подтверждения эффективности такой замены декларируются псевдоновые возможности систем управления, связанные с оптимизацией движения при минимальной автоматизации технологических процессов с полным участием человека в реализации команд на управление, а принцип «цена/качество», при этом, нарушен.

Сегодня микроэлектронные и микропроцессорные устройства используются как основа реализации простейшей логики булевой алгебры, в которой для осуществления того или иного технологического процесса вычисляется ряд конъюнкций «десятка» условий для проверки безопасности движения поездов [8]. В целях безопасности процедур по управлению используется многократная программная и аппаратная избыточность блоков и компонентов, что, как показывает практика, позволяет реализовывать действительно надежные и безопасные системы управления [9]. Но реальные возможности современных IT-решений в таких системах практически остаются невостребованными, что можно сравнить с использованием мощнейшего суперкомпьютера только для вывода на экран черно-белой фотографии.

На рис. 1 изображена современная концепция системы управления движением поездов, сохраненная с середины XX столетия. Она базируется на трех

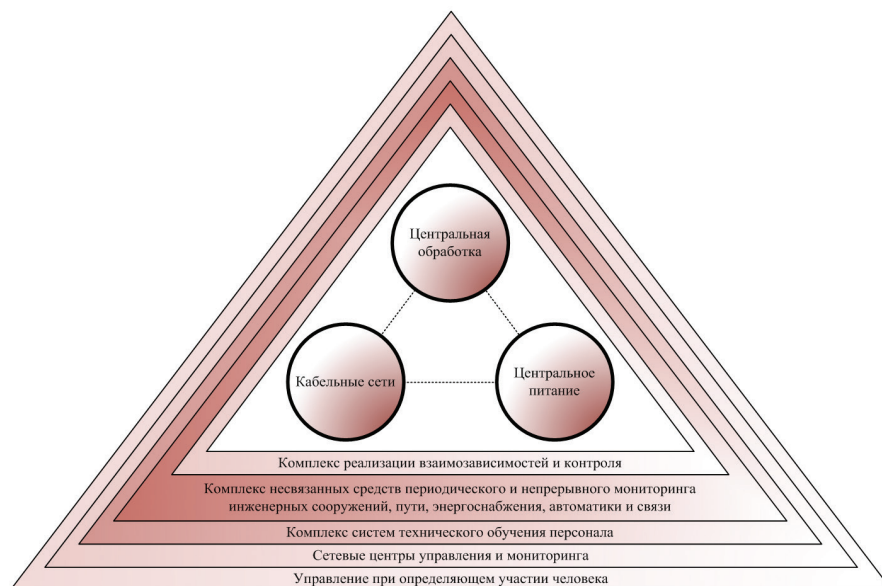


Рис. 1. Современная концепция системы управления

парадигмах: центральная обработка, центральное питание, кабельные сети (проводные линии связи). Каждый уровень в концепции представляет собой отдельную систему или набор лишенных единства систем, ориентированных только на реализацию технологических алгоритмов управления движением (принцип децентрализации [10]). Железные дороги постсоветского пространства раздроблены на множество участков, где сформированы подразделения эксплуатации и обслуживания отдельных объектов инфраструктуры, тяговых и нетяговых подвижных единиц, а эти структурные подразделения поделены на еще более мелкие участки. Границы влияния подразделений тех или иных хозяйств различны, а взаимодействие зачастую не так эффективно, как могло бы быть. Да и принципы определения границ участков не менялись более 50 лет и также базируются на моделях начала эры электрификации индустрии. И все это происходит на фоне колоссального развития техники и технологий!

Хотя в основе современных систем управления лежит переход к микроэлектронной и микропроцессорной технике, концепция основана на технологиях обработки данных середины XX века практически без учета возможностей, открывающихся при системной интеграции. Так, до сих пор основные средства регулирования движения — светофоры, изобретенные столетие назад (рис. 2), а управление, эксплуатация и обслуживание осуществляются при доминантно-приоритетном участии

человека. Хотя движение поезда по рельсам (по «направляющим») — это 1D-движение, а движение самолета или космического аппарата в пространстве — это 3D-движение, и оно зачастую выполняется на автопилоте.

За то время, пока используется современная концепция системы управления, человечество освоило возможность космических полетов, научилось печатать детали конструкций на 3D-принтере, реализовало проведение сложнейших нейрохирургических операций с помощью компьютерной техники и т.п. Сегодня все чаще упоминается о том, что в ближайшее время появятся квантовые вычислители, что значительно ускорит процесс эволюции IT-систем, а также повысит качество жизни [11]. Но в области железнодорожного транспорта по-прежнему культивируются морально устаревшие идеи середины XX века.

На рис. 3 приводится прогноз известного американского изобретателя Рэймонда Курцвейла (Google), сделанный им в 2015 г. [12]. Технологии будущего обязательно коснутся и систем управления на транспорте.

### Новый виток в развитии систем управления движением на железнодорожном транспорте

Мощнейший скачок в технологиях Cloud Computing, Fog Computing, Big Data, в использовании Internet of Things (IoT), blockchain и neural network [13–18] позволяет говорить о возможности и целесообразности их применения не только для оптимизации работы современных

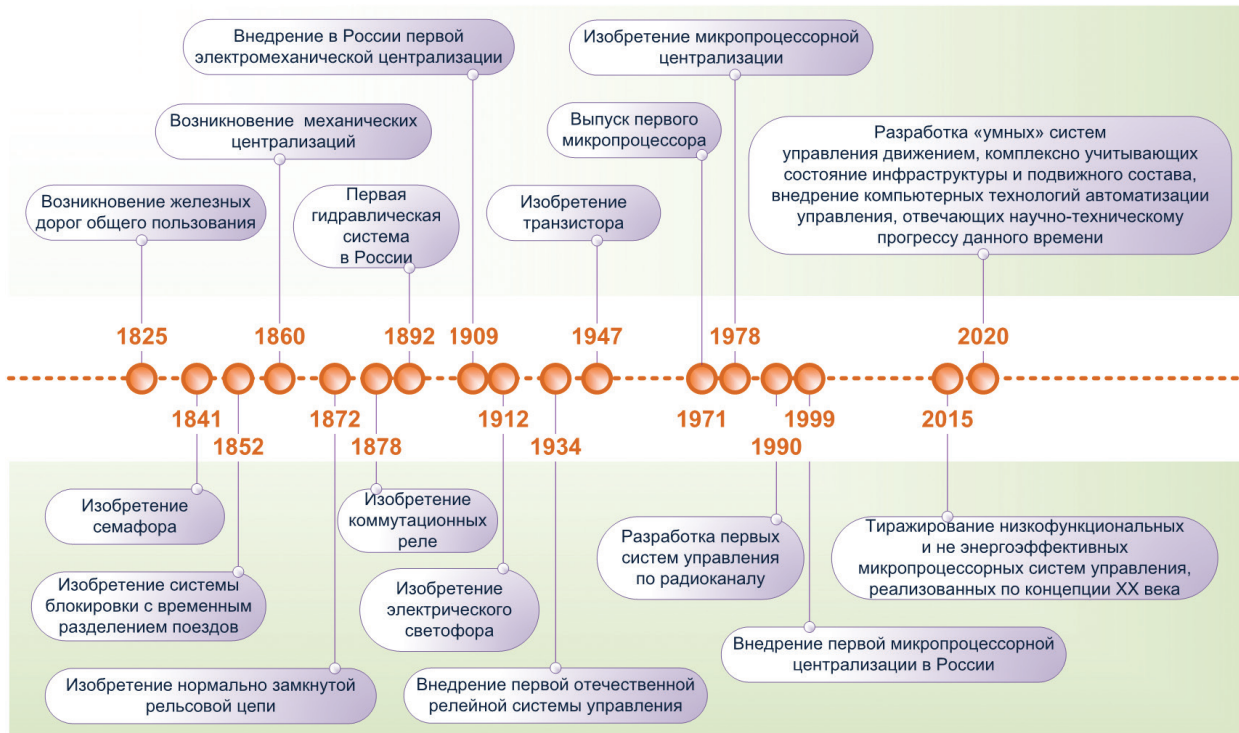


Рис. 2. Двухсотлетняя история развития систем управления на железных дорогах

систем управления движением на железнодорожном транспорте, но и для создания «умных» систем управления (Smart Train Control Systems). Новые системы управления должны функционировать на новых принципах и ориентироваться на использование следующих парадигм: обработка данных на объектах управления, использование систем автономного питания и беспроводных сетей передачи данных (рис. 4). Системы должны работать в режимах оптимального энергопотребления с максимальной интеграцией всех компонентов, включая такие составляющие, как автоматический периодический

и непрерывный мониторинг и системы обучения технического персонала. Должен осуществиться переход к тесному взаимодействию с мобильными носимыми устройствами, а доля участия человека в процессах управления и эксплуатации должна быть сокращена в разы, вплоть до сведения ее к роли наблюдателя за протекающим технологическим процессом.

Пока сложно представить, но «мозг» современной системы управления движением поездов может поместиться в обычном смартфоне. В наши дни система управления движением поездов реализуется в больших помещениях: на

постах централизаций и в транспортных модулях. Если взглянуть масштабно, то окажется, что это именно децентрализация управления. Технологии с обработкой данных на объектах управления и использованием IoT дают возможность осуществления действительно централизованного управления, а для промышленных предприятий — предоставления системы управления как сервиса (концепция «электрическая централизация как сервис»). Таким образом, изменения технического уровня систем, построенных на принципах, приведенных на рис. 4, одновременно скажутся и на организационной структуре сис-

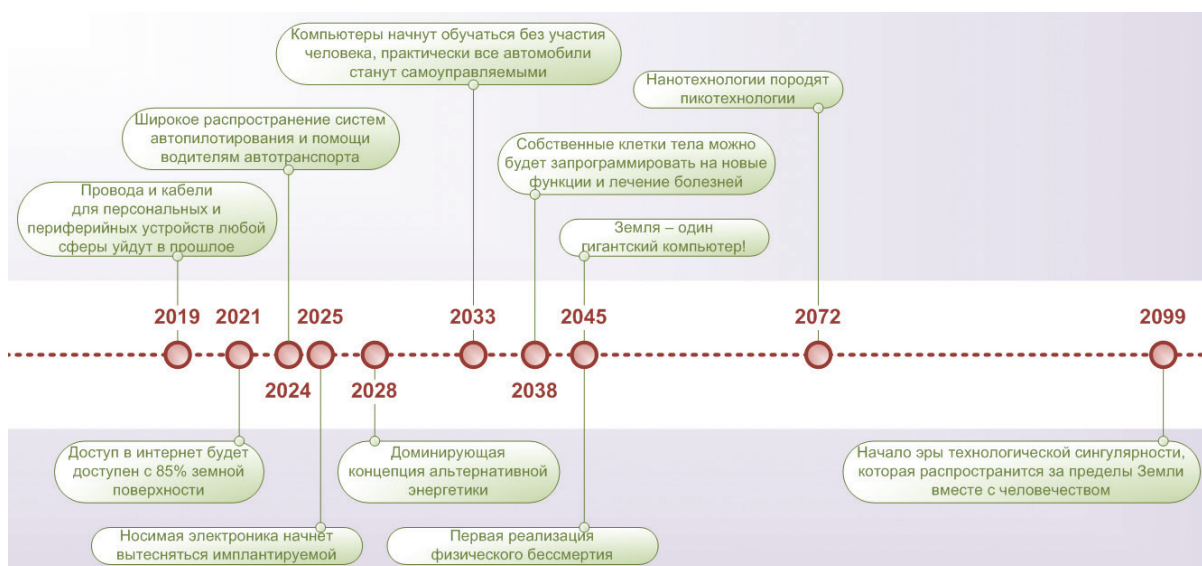


Рис. 3. Прогноз развития технологий до 2099 г.

тем управления движением. Используя предложенный подход, можно говорить о системе управления как о высокотехнологичной «услуге». При таком подходе можно изменить укоренившуюся мысль, что поставщик систем управления может на долгие десятилетия диктовать свои условия владельцу инфраструктуры. Подобное уже происходит и в других высокотехнологичных отраслях. Так, в 2014 г. законодательно (Федеральный закон от 25.12.2012 № 253-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “О связи”») отменили так называемое «мобильное рабство». Это усилит конкуренцию в данной отрасли, а значит, позволит увеличить скорость эволюции в данном сегменте IT-решений. Переходя на принцип «система управления как “услуга”», владелец инфраструктуры, для которого услуга оказывается, будет думать не о том, как содержать систему управления, а о том, как получить от нее максимальную отдачу.

### Интеграция транспортных систем

Новая концепция (рис. 4) — лишь промежуточный этап в создании «идеальной» концепции «умной» системы управления (рис. 5). Но с учетом потенциала компьютерных технологий и аппарата сложных вычислений сегодня промежуточную концепцию можно реализовать. Для этого не требуется революции в технике: нужно расширить границы использования наработок мирового научного потенциала и, используя ту часть разработок, которая успешно применяется в создании автопилотируемых средств воздушного транспорта и первых прототипов автопилотируемых средств автодорожного транспорта, реализовать Smart Train Control Systems.

Следует также отметить неизбежность «разрушения» морально устаревшей концепции при внедрении высокоскоростных магистралей и новых видов транспорта. Ведь медленнодействующие релейные системы управления и их современные «заменители» не способны ответить тому потенциалу скорости перемещения грузов и пассажиров, который закладывается в будущие транспортные комплексы [19].

Железнодорожный комплекс согласно приведенным концепциям понимается как единое целое, обособленное от других видов транспорта. Сегодня мы понимаем важность взаимодействия различных видов транспорта, и зачастую пользователи прибегают к смешанным

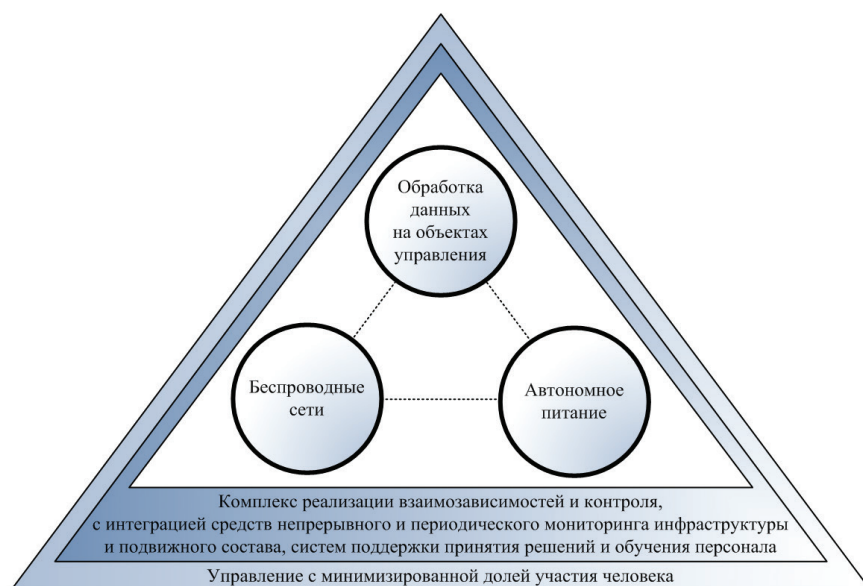


Рис. 4. Концепция системы управления ближайшего будущего

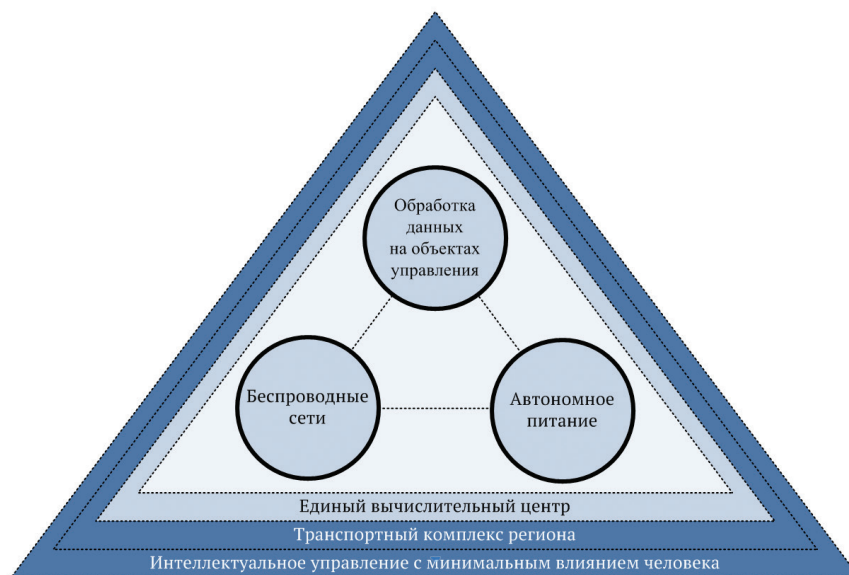


Рис. 5. «Идеальная» концепция «умной» системы управления

перевозкам различными видами транспорта (например, автобус, метро, самолет в одной поездке). Будущее «умного» железнодорожного транспорта — не обособленное развитие, а последующая интеграция в транспортную систему региона, страны, континента. С учетом всех участников движения в регионе может быть выстроена сеть «умного» транспорта, включающего в себя оптимизированные системы управления, когда различные виды транспорта эффективно взаимодействуют, нет пробок и незапланированных остановок, не теряется время пользователей.

Триада парадигм центральная обработка — центральное питание — кабельная сеть, лежащих в основе морально устарев-

шей концепции наложения децентрализованных комплексов и систем обеспечения движения поездов, не способна адекватно отвечать научно-техническому прогрессу в сфере транспортной отрасли. В связи с предстоящим использованием высокоскоростных транспортных систем стоит задуматься о совершенствовании средств управления движением, создавая энергоэффективные структуры, работающие на основе триады парадигм обработка данных на объектах — автономное питание — беспроводные сети. Современный комплекс транспорта должен быть единым, состоять из отдельных оптимально взаимодействующих кластеров. Он не может представлять собой множество разрозненных транспортных систем, при



ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН

взаимодействию друг с другом снижающих эффективность технологических процессов. Совершенствование транспортного комплекса должно быть системным, это не могут быть попытки улучшения одной из мелких деталей (хотя и это определенный прогресс). Только такой подход позволит создать действительно передовой и прогрессирующий транспортный комплекс, где каждая составляющая, в том числе железнодорожный транспорт, будет находиться на высочайшем технологическом уровне. ■

#### Литература

1. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking – International Compendium. Eurailpress, 2009. – 448 p.
2. Розенберг Е. Н. Инновационная технология управления движением поездов // Автом., связь, информ. 2017. № 10. С. 2–4.
3. Falcon Heavy – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Falcon\\_Heavy](https://en.wikipedia.org/wiki/Falcon_Heavy) (дата обращения 16.03.2018).
4. Ross P. E. Hyperloop: No pressure // IEEE Spectrum. 2016. Vol. 53. Is. 1. P. 51–54. DOI: 10.1109/MSPEC.2016.7367468.
5. Кафедра «Автоматика и телемеханика

- на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения в XX – начале XIX в. / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. СПб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщения, 2009. – 346 с.
6. Микропроцессорные системы централизации: Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. А. Кононов и др. – М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ, 2008. – 398 с.
  7. Novák P., Daňhel M., Blažek R. B. et al. Predicting the Life Expectancy of Railway Fail-Safe Signaling Systems Using Dynamic Models with Censoring // 2017 IEEE Int. Conf. Software Quality, Reliability and Security (QRS). Prague, 2017. P. 329–339. DOI: 10.1109/QRS.2017.43.
  8. Efanov D., Lykov A., Osadchy G. Testing of Relay-Contact Circuits of Railway Signalling and Interlocking // Proceed. 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017). Novi Sad, 2017. P. 242–248. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110095.
  9. Гавзов Д. В., Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Методы обеспечения

- безопасности дискретных систем // Автом. и телемех. 1994. № 8. С. 3–50.
10. Ефанов Д. В. Интеграция систем непрерывного мониторинга и управления движением на железнодорожном транспорте // Транспорт РФ. 2017. № 4. С. 62–65.
  11. Хаханов В. И., Емельянов И. В., Любарский М. М. и др. Кубитный метод дедуктивного анализа неисправностей для логических схем // Электрон. моделир. 2017. Т. 39. № 6. С. 59–91.
  12. Прогноз развития технологий до 2099 г. – URL: <http://www.computerra.ru/122163/predictions-of-raymond-kurzweil/> (дата обращения 17.03.2018).
  13. Tshagharyan G., Harutyunyan G., Shoukourian S. et al. Securing Test Infrastructure of System-on-Chips // Proceed. 14th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016). Yerevan, 2016. P. 29–32.
  14. Brogi A., Forti S. QoS-Aware Deployment of IoT Applications Through the Fog // IEEE Internet of Things J. 2017. Vol. 4. Is. 5. P. 1185–1192. DOI: 10.1109/JIOT.2017.2701408.
  15. Eychenne Ch., Zorian Y. An Effective Functional Safety Infrastructure for System-on-Chips // Proceed. 23rd IEEE On-Line Testing and Robust System Design (IOLTS'2017). Thessaloniki, 2017. P. 63–66. DOI: 10.1109/IOLTS.2017.8046235.
  16. Kakou M. A., Ghaifari F., Romain O. et al. Error Rate Estimation of a Design Implemented in an FPGA Based on the Operating Conditions // Proceed. 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017). Novi Sad, 2017. P. 459–465. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110059.
  17. Serhani M. A.; El. Kassabi H. T., Taleb I. Quality Profile-Based Cloud Service Selection for Fulfilling Big Data Processing Requirements // 2017 IEEE 7th Int. Symp. Cloud and Service Computing (SC2). Kanazawa, 2017. P. 149–156. DOI: 10.1109/SC2.2017.30.
  18. Darwish T. S., Bakar K. A. Fog Based Intelligent Transportation Big Data Analytics in The Internet of Vehicles Environment: Motivations, Architecture, Challenges and Critical Issues // IEEE Access. 2018. Vol. PP. Is. 99. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2815989.
  19. Липидус Б. М., Мачерет Д. А. Перспективная топология высокоскоростной транспортной системы с использованием вакуумно-левитационных технологий // Транспорт РФ. 2018. № 1. С. 15–21.