

# «ЗЕЛЕННЫЕ» ТЕХНОЛОГИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ



**ЕФАНОВ**  
Дмитрий Викторович,  
Российский университет  
транспорта, профессор  
кафедры «Автоматика,  
телемеханика и связь  
на железнодорожном  
транспорте», д-р техн.  
наук, Россия, Москва



**ОСАДЧИЙ**  
Герман Владимирович,  
ООО НТЦ «Комплексные  
системы мониторинга»,  
технический директор,  
Россия, Москва

**Ключевые слова:** железная дорога, системы управления, железнодорожная автоматика, информационные технологии, альтернативные источники питания, «зеленые» технологии, green IT-engineering

**Аннотация.** Развитие информационно-коммуникационных технологий позволяет говорить о возможности кардинальных перемен в области систем управления движением поездов. Одним из направлений развития технологий на железных дорогах является использование новых принципов управления движением поездов с отказом от традиционных средств автоматизации. Авторами статьи предложена концепция «зеленых» систем управления движением поездов, позволяющая использовать энергоэффективные источники возобновляемой энергии, а также современные технологии в обработке данных и в управлении ответственными технологическими процессами (концепция «Green Interlocking»).

■ Развитие техники и технологий идет по спирали. Некоторые технические решения, предложенные десятки или сотни лет назад и вытесненные со временем более эффективными на тот период технологиями, сегодня получают новую жизнь. Таким образом, каждый виток спирали научно-технического прогресса позволяет не только укоренить известные технические решения и подходы к реализации технических объектов, но и расширить поле выбора технологий и получать более функциональные, «умные» и энергоэффективные изобретения.

К примеру, идея создания полевых транзисторов, широко распространенных в современных технических устройствах автоматизации и вычислительной техники, была предложена еще в 1926–1928 гг. Ю.Э. Лиленфельдом. Однако первый полевой транзистор с изолированным затвором был создан только спустя 30 лет в 1960 г., а улучшенную конструкцию получил К. Мид в 1966 г. В 1977 г. Дж. Маккалахем (Bell Labs) показал, что использование полевых транзисторов может существенно повысить быстродействие вычислительной техники. За время развития технологий полевых транзисторов был предложен и реализован биполярный транзистор, а также первые логические элементы и микросхемы с малой степенью интеграции элементов [1]. Сегодня развитый потенциал в области синтеза дискретных систем с большой и сверхбольшой степенью интеграции, а также с возможностью использования устройств с перепрограммируемой логикой широко используется при разработке, конструировании и реализации систем автоматизированного и автомати-

ческого управления, в том числе на железнодорожном транспорте [2]. Ведутся работы по снижению энергопотребления компонентов, а также использованию возобновляемых источников электроэнергии [3].

Спиралевидное развитие техники наблюдается и в области устройств и систем управления ответственными технологическими процессами на железнодорожном транспорте (рис. 1). Например, идея централизации управления на железнодорожных станциях, реализованная во второй половине XIX века с помощью рычажных жестких и гибких тяг и ручного управления оператором, спустя столетие нашла свое применение на появившихся релейных устройствах.

Сегодня принципы централизации управления и энергоснабжения используются практически во всех системах железнодорожной автоматизации, в том числе реализованных на микроэлектронной и микропроцессорной элементной базе [4, 5]. В период перехода от ручных механических систем к автоматизированным электрическим системам управления движением появлялись системы с децентрализованным размещением оборудования и средств его энергоснабжения. Первое применение таких систем железнодорожной автоматизации началось на заре XX века. Однако техника и технологии тех лет показали низкую эффективность использования такого подхода к реализации систем управления движением поездов. И лишь спустя столетие, в эру информационных технологий и альтернативных источников питания, принципы децентрализации оборудования и реализации распределенных систем управления получают новое развитие [6].

В современном мире широко используются «зеленые» технологии в строительстве и в сфере информационных технических решений (green IT или green computing) [3, 7]. Сама концепция green IT возникла еще в 1992 г. и связана с созданием экологически ориентированной компьютерной техники. При этом основными трендами использования green IT являются: сокращение использования опасных материалов, максимальное повышение эффективности применения, снижение энергопотребления, повышение срока службы объектов, возможность ремонта, совершенствования и переработки. В этой связи оказывается весьма важным стремительное развитие альтернативных источников энергоснабжения и использования возобновляемых источников энергии (green energy), таких как энергия ветра, гидроэнергия, энергия отливов и приливов, энергия солнечного света, геотермальная энергия и биотопливо. По сообщениям специалистов в области информационных технологий к концу 2020-х гг. концепция альтернативной энергетики будет доминировать во всем мире [8].

Анализируя подходы к реализации современных систем управления движением поездов, отметим тенденцию использования трех парадигм: «централизация зависимостей», «централизация энергоснабжения», «использование кабельных сетей передачи данных». В этой связи абсолютно не учитывается возможность оптимизации энергоснабжения и применения возобновляемых источников энергии. Реализация же умной и энергоэффективной системы управления движением возможна при использовании концепции совершенно противоположных по своему смыслу парадигм: «обработка данных на объектах управления», «автономное питание», «беспроводные сети», предложенной авторами в [6]. В этом случае возможна реализация «зеленой» системы управления (концепция Green Interlocking, GI-XXI). Плюсы данной технологии заключаются в снижении энергопотребления, рациональном использовании ресурсов, экологичности технологий, возможности сохранения времени, отказе от использования ряда технического оборудования (например, отказ от физических серверов и минимизация дорогостоящего напольного технологического оборудования в виде дроссель-трансформаторов).

Из всех современных способов реализации энергоэффективных систем наиболее близким к реализации на железнодорожном транспорте является использование энергии ветра и солнечного света. Например, с начала 2017 г. все поезда в Нидерландах перешли на использование энергии ветра [9]. На рис. 2 показана архитектура системы, построенной по концепции Green Interlocking. Такая система строится на основе использования современных информационных технологий, а именно, fog computing, big data, в использовании internet of things (IoT), blockchain и neural network [10–12].

Архитектура системы образована несколькими уровнями

иерархии. Она включает низовой уровень сопряжения с напольным технологическим оборудованием, образованный функциональными модулями (ФМ) и беспроводной сетью обработки данных на их основе, уровень беспроводной связи с объектами оперативного управления, а также уровень оперативного управления. Функциональные модули подключаются непосредственно к объектам управления. Они состоят из микроконтроллеров управления и встроенного мониторинга, а также передатчика сигнала. Функциональные модули, таким образом, распределены по станциям и перегонам и образуют распределенную вычислительную сеть на основе технологии fog computing (туманные вычисления).

Все зависимости проверяются именно здесь, на низовом, исполнительском уровне. Доступ к датчикам приборов осуществляется по киберзащищенному беспроводному каналу, сообщения в котором используют разработанный криптографический протокол на основе генетического алгоритма в компиляторе для обеспечения максимальной энергоэффективности [13] со специального автоматизированного рабочего места (АРМ) оператором управления движением на объекте (аналог дежурного по станции). В перспективе функции оператора могут быть автоматизированы и использованы автодиспетчером для организации рациональных режимов управления движением или бортовым аппаратно-программным комплексом в виде «виртуальной централизации» (этот вариант перспективен на малодеятельных линиях и линиях, пролегающих в местностях со сложным рельефом или же в зоне сурового климата).

В процессе реализации концепции Green Interlocking должен происходить постепенный переход к уменьшению количества напольного технологического оборудования железнодорожной автоматики. На первом этапе сохраняются традиционные средства в виде рельсовых цепей, светофоров, стрелок, дроссель-трансформаторов и др. Далее осуществ-

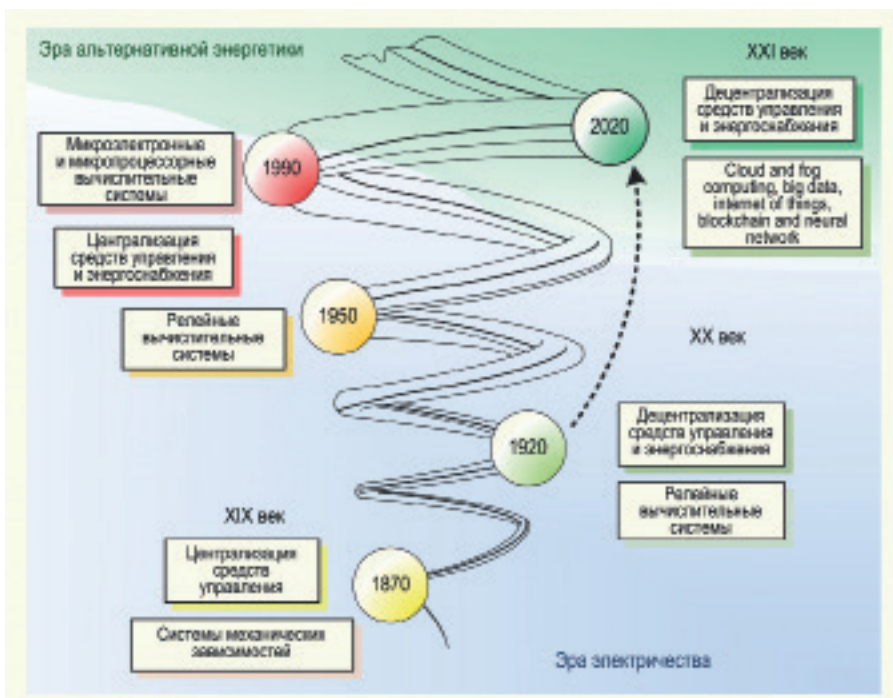


РИС. 1



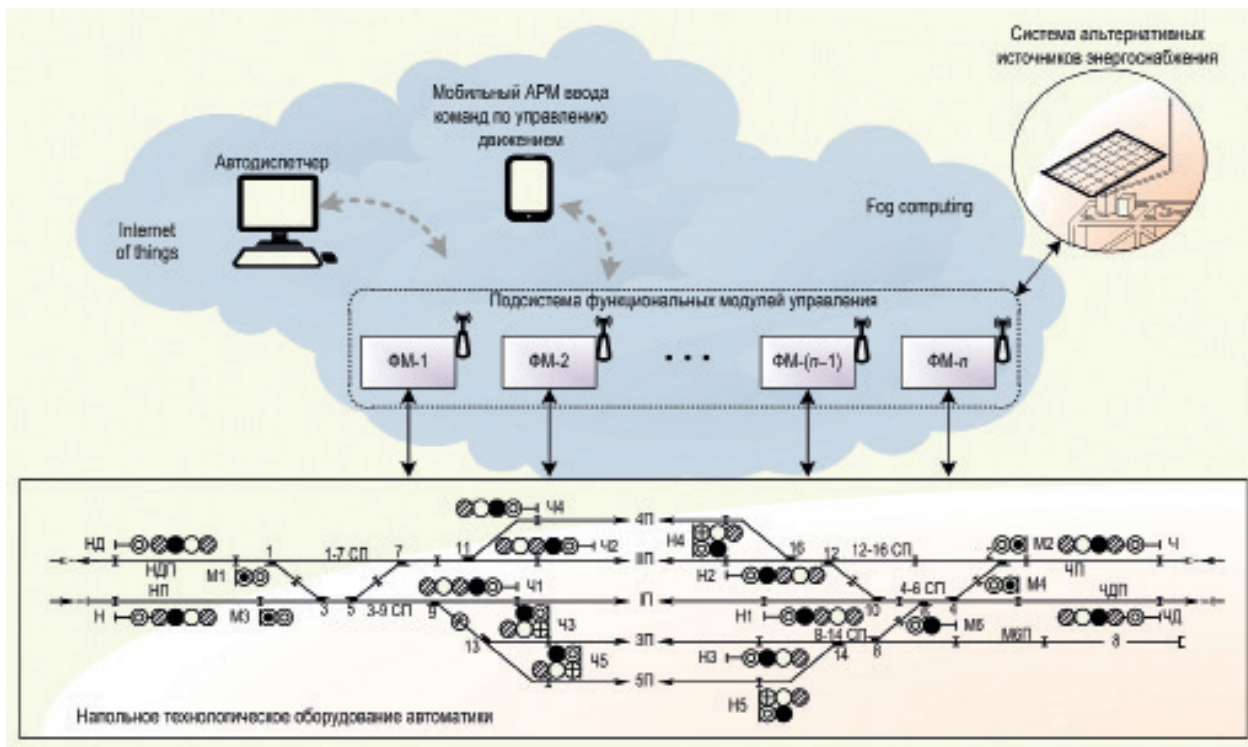


РИС. 2

вляется отказ от светофорной сигнализации за счет передачи выбора скоростного режима и условий проследования на бортовые устройства локомотивов. На третьем этапе исключаются рельсовые цепи и минимизируется число дроссель-трансформаторов, подвижные единицы позиционируются с помощью радиоканала, а целостность рельсового пути контролируется на основе мониторинговых оптоволоконных систем, а также с применением методов неразрушающего контроля. Таким образом, конечный этап связан лишь с сохранением устройств автоматического управления железнодорожными стрелками (изменив тип используемых двигателей и номиналы токов и напряжений их функционирования) и формированием собственного защищенного IoT для управления движением поездов.

Следует отметить, что архитектура, аналогичная Green Interlocking, уже была реализована авторами на объектах мониторинга железнодорожной контактной

подвески на линии скоростного сообщения Санкт-Петербург – Москва [14]. В качестве источников альтернативной энергии были использованы солнечные панели, а в качестве беспроводной сети передачи и обработки данных – собственный IoT, развернутый на 16-километровом перегоне Торбино – Боровенка с применением защищенного и энергоэффективного протокола передачи данных (рис. 3). При этом вся обработка данных была реализована на микроконтроллерах «умных» приборов прямо на объекте мониторинга, а результаты по запросу передавались на концентратор линейного поста. В отсутствие процедуры измерения приборы находятся в спящем режиме, что обеспечивает оптимизацию энергопотребления. Результаты использования системы мониторинга показали реальную возможность применения данной технологии и для создания систем управления движением.

На рис. 4 показан пример реализации системы управления с использованием архитектуры Green Interlocking на станции электрифицированной линии железной дороги. В этом случае необходимое количество солнечных панелей рассчитывается с учетом фактической нагрузки на реализации технологических алгоритмов по управлению движением и географического местоположения объекта. Кроме того, с использованием вертикально направленных антенн и радиотехнических модулей напольных устройств автоматики организуется сеть IoT с технологиями обработки данных fog computing. Все зависимости проверяются на низовом уровне в цифровом тумане, что позволяет реализовать «мозг» системы управления в конструкции, размером с современный смартфон (аналог наборной группы электрической централизации [4]). В перспективе возможна реализация более высокого уровня централизации обработки данных для целых участков железных дорог, а также переход к использованию искусственного интеллекта для управления движением поездов.

Активно развивающиеся информационные техно-

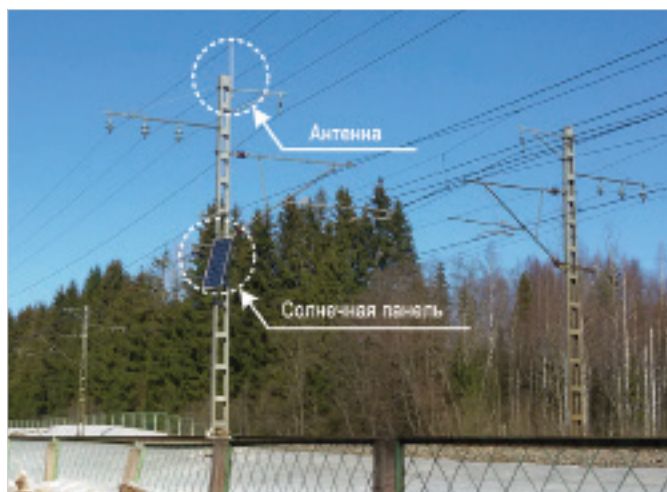


РИС. 3

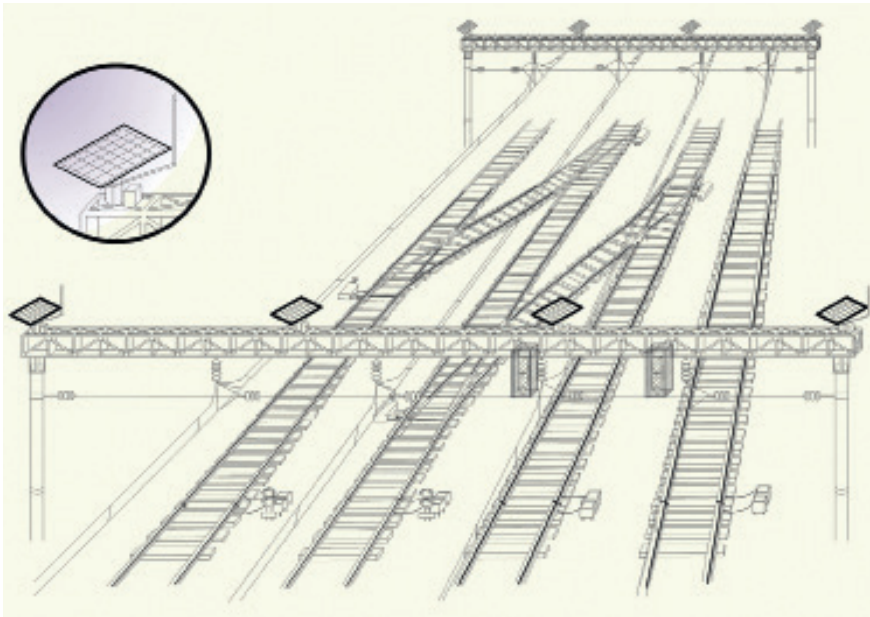


РИС. 4

логии позволяют сегодня реализовывать передовые и перспективные системы управления движением поездов. От методов и технологий второй половины XX века осуществляется постепенный переход к технологиям управления в современном мире. Они в полной мере уже применяются в космическом и авиационном транспорте и постепенно проникают в сферу наземных средств перевозки грузов и пассажиров, в том числе на железнодорожном транспорте.

С развитием альтернативной энергетики и научно-техническим прогрессом в области информационных технологий возможен переход от традиционных систем управления движением поездов к реализации концепции Green Interlocking. Это, в свою очередь, будет большим шагом вперед к реализации технологии «умных» и энергоэффективных систем управления (Smart & Grid Train System Control). Впервые появляется возможность использовать и назначать классы энергоэффективности в отношении конкретных систем управления железнодорожным транспортом. Этим принципом также можно руководствоваться и при реализации новых систем управления ответственными технологическими процессами (или реконструкции старых), не ограничиваясь сферой железнодорожного транспорта.

Авторами статьи исследованы и предложены решения двух фундаментальных проблем при реализации концепции Green Interlocking. Это – обеспечение безопасности в беспроводных каналах данных, которая ликвидируется технологиями, реализованными по примеру шифрованного канала, и проблема высокой вероятности ошибки в канале связи и в самом сообщении на управление. Она решается в системе путем использования технологии fog computing для обработки данных, а для их хранения и передачи – технологии blockchain с транзакциями, обрабатываемыми сетью сенсоров, выступающей в качестве консенсусного механизма.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Издательство иностранной литературы. 1963. 829 с.
2. Ubar R., Raik J., Vierhaus H.-T. Design and test technology for dependable systems-on-chip. Hershey, Pa : IGI Global, 2011. 578 p.

3. Kharchenko V., Kondratenko Yu., Kacprzyk J. Green IT Engineering : Concepts, models, complex systems architectures. Cham Springer, 2017. 305 p. (Studies in Systems, Decision and Control ; Vol. 74). DOI : 10.1007/978-3-319-44162-7.

4. Borecky J., Kubalik P., Kubatova H. Reliable railway station system based on regular structure implemented in FPGA // 12th Euromicro Conference on Digital System Design, Architectures, Methods and Tools, 2009 (DSD'09), 27–29 Aug. 2009, Patras. P. 348–354. doi: 10.1109/DSD.2009.210.

5. Predicting the life expectancy of railway fail-safe signaling systems using dynamic models with censoring / P. Novák, M. Daňhel, R.B. Blažek, M. Kohlík, H. Kubátová // 2017 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS), 25–29 July 2017, Prague. P. 329–339. doi: 10.1109/QRS.2017.43.

6. Ефанов Д.В., Осадчий Г.В. Концепция современных систем управления на основе информационных технологий // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 5. С. 20–23.

7. Тюрин С.Ф., Харченко В.С. «Зеленая» программируемая логика: концепция и элементы реализации для FPGA проектов // Системы обработки информации. 2013. № 9 (116). С. 84–92.

8. Predictions made by Ray Kurzweil // Wikipedia: The free encyclopedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Predictions\\_made\\_by\\_Ray\\_Kurzweil](https://en.wikipedia.org/wiki/Predictions_made_by_Ray_Kurzweil).

9. Поезда в Нидерландах полностью перешли на энергию ветра // National Geographic Russia : сайт. 2017. URL: <http://www.nat-geo.ru/science/986915-poezda-v-niderlandakh-polnostyu-pereshli-na-energiyu-vetra/>.

10. Cloud traffic control system / V.I. Hahanov, O.A. Gus, A. Ziarmand, N.C. Umerah, A. Arefjev // Proceedings of 11th East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013), Rostov-on-Don, 2013. P. 72–76. doi: 10.1109/EWDTS.2013.6673092.

11. Brogi A., Forti S. QoS-aware deployment of IoT applications through the fog // IEEE Internet of Things Journal. 2017. Vol. 4, Issue 5. P. 1185–1192. doi: 10.1109/JIOT.2017.2701408.

12. Serhani M.A., El Kassabi H.T., Taleb I. Quality profile-based cloud service selection for fulfilling big data processing requirements // IEEE 7th International Symposium on Cloud and Service Computing (SC2), Kanazawa. 2017. P. 149–156. doi:10.1109/SC2.2017.30.

13. Hsu C.H., Kremer U. The design, implementation, and evaluation of a compiler algorithm for CPU energy reduction // PLDI '03 Proceedings of the ACM SIGPLAN 2003 conference on Programming language design and implementation, San Diego, CA. New York : ACM, 2003. P. 38–48. (ACM SIGPLAN Notices; Vol. 38 (5)).

14. Ефанов Д.В., Седых Д.В., Осадчий Г.В. Результаты использования системы непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески на участке Торбино – Боровенка линии скоростного сообщения Санкт-Петербург – Москва // Автоматика на транспорте. 2017. Т. 3, № 1. С. 39–53.

## ABSTRACTS

### Green Technologies in Railway Transport

**EFANOV DMITRII**, “Automation, Remote Control and Communication on Railway Transport” department, Russian University of Transport (MIIT), professor, Dr.Sci. (Tech.), Moscow, Russia, TrES-4b@yandex.ru

**OSADCHY GERMAN**, Technical director of Scientific and Technical Center “Integrated Monitoring Systems” LLC, St. Petersburg, Russia, osgerman@mail.ru

**Keywords:** control systems, railway automation, information technology, alternative power supplies, green technologies, green IT-engineering

**Summary:** The information and communication technologies development allows us to talk about the possibility of radical changes in the train control systems field. One of the directions in the technologies development on railways is the use of new principles for controlling the train movement with the abandonment of traditional automation equipment. The article authors proposed the concept of «green» train control systems, which allows the use of energy-efficient sources of renewable energy, as well as modern technologies in data processing and in the management of critical technological processes (the «Green Interlocking» concept).