

3. *Беляков С.Л., Гордиенко Л.В.* Прецедентный анализ логистических операций в геоинформационных системах // Программные продукты и системы. – 2008. – № 4.
4. *Капралов Е.Г., Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. и др.* Геоинформатика: Учеб. для студ. вузов / Под ред. В.С. Тикунова. – М.: Изд. центр «Академия», 2005.
5. *Майника Э.* Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. – М.: Мир, 1981.
6. *Розенберг И.Н., Беляков С.Л.* Программные интеллектуальные оболочки геоинформационных систем / Под ред. Л.С. Берштейна. – М.: Научный мир, 2010.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.А. Башков.

Беляков Станислав Леонидович – Научно-технический центр «Информационные технологии» федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: beliacov@yandex.ru; 347922, г. Таганрог, Октябрьская пл., 4; тел.: 88634371731; д.т.н.; профессор.

Белякова Марина Леонтьевна – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: asni@fep.tti.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371638; кафедра автоматизированных систем для научных исследований; к.т.н.; доцент.

Савельева Марина Николаевна – e-mail: marina.n.savelyeva@gmail.com; тел.: 88634371743; кафедра прикладной информатики; аспирантка.

Розенберг Игорь Наумович – ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт инженеров железнодорожного транспорта» (НИИАС); e-mail: I.kudreyko@gismps.ru; 109029, г. Москва, ул. Нижегородская, д. 27, стр. 1; тел.: 84959677701; зам. генерального директора; д.т.н.

Beliacov Stanislav Leonidovich – Scientific and Technical Center "INTECH" of «Southern Federal University»; e-mail: beliacov@yandex.ru; 4, Oktyabrskaya square, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634371731; dr. of eng. sc.; professor.

Beliacova Marina Leontyevna – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: asni@fep.tti.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371638; the department of automated systems for research; cand. of eng. sc.; associate professor.

Savelyeva Marina Nikolaevna – e-mail: marina.n.savelyeva@gmail.com; phone: +78634371743; the department of applied information science; postgraduate student.

Rozenberg Igor Naumovich – Public corporation “Research and development institute of railway engineers”; e-mail: I.kudreyko@gismps.ru; phone: +78634371638; 27/1, Nizhegorodskaya street, Moscow, 109029, Russia; deputy director; dr. of eng. sc.

УДК 621.337.1:681.326.3

К.И. Юренко, Е.И. Фандеев

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЕДЕНИЯ ПОЕЗДА

Создание интеллектуальной транспортной системы железнодорожного транспорта предполагает внедрение бортовых систем автоматического ведения поезда (автоведения), самодиагностики, передачи информации о фактическом состоянии локомотива по радиоканалу в режиме реального времени. Одним из основных требований к бортовой системе автоведения является соответствие требованиям норм безопасности (НБ) по сертификации: выполнение ограничений скорости и реакция на сигналы автоблокировки (све-

тофоров). Эти требования в значительной степени связаны с функцией автоматического управления тормозами. Испытания на соответствие НБ проводятся на специализированных полигонах и участках железной дороги. Вместе с тем, их проведение сопряжено со значительными трудностями и расходами. Поэтому для наладки и подготовки к испытаниям на основе классических положений теории электрической тяги, механики и электротехники была разработана компьютерная имитационная модель системы автоведения электровоза. Она позволяет произвести наладку и подготовку к испытаниям на специализированном полигоне или участке железной дороги с помощью вычислительного эксперимента. Сертификационные испытания локомотива на кольце НЭВЗа подтвердили эффективность такого подхода.

Программно-аппаратный комплекс; система управления; имитационное моделирование; электровоз; автоведение; уравнение движения.

K.I. Yurenko, E.I. Fandeev

COMPUTER MODEL AND HARDWARE-SOFTWARE ON-BOARD SYSTEMS OF AUTOMATED DRIVING OF THE TRAIN

The creation of intellectual transport system in the railway transport involves the introduction of airborne systems of automatic train autodiving, self-diagnosis, transmission the actual state of the locomotive on the radio in the real-time mode. One of the main requirements to the onboard system autodiving is to meet the requirements of safety Norms for the certification. Developed the simulation model of train autodiving system to make adjustment and preparation for the tests at the test site or section of the railway with the help of computer experiment. Certification test loco on a test ring confirmed the effectiveness of this approach.

Software-hardware complex; train control management system; simulation; electric locomotive; autodiving system; the equation of train motion.

Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 г. и Стратегическое направление научно-технического развития ОАО «РЖД» до 2015 г. предполагают создание интеллектуальной транспортной системы железнодорожного транспорта [1]. Такая система предполагает, что локомотивы должны быть оборудованы встроенными системами автоматизированного ведения поезда (автоведение, автомашинист), самодиагностики, передачи в режиме реального времени техническим службам информации о фактическом состоянии локомотива и рядом других.

Необходимость внедрения и совершенствования систем автоведения обусловлены в первую очередь требованиями повышения безопасности движения и точности исполнения расписания, внедрения ресурсосберегающих технологий, создания предпосылок к переходу на управление в «одно лицо».

Структура программно-аппаратных средств бортовой системы автоведения представлена на рис. 1. Человекомашинный интерфейс на пульте машиниста поезда позволяет задавать исходные данные, необходимые для работы системы: номер поезда, определяющий расписание движения, параметры состава (масса, количество вагонов), временные ограничения скорости, а также обеспечивает возможность оперативного вмешательства машиниста в управление в случае необходимости: переход в режим «советчик» или «ручное управление», выполнение экстренного торможения и т.д. Указанный интерфейс включает также систему индикации параметров движения и продольного профиля пути.

Бортовая база данных формируется с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) в депо и содержит: расписание движения поездов, информацию о профиле пути на участке железной дороги (величины уклонов и кривых в зависимости от текущей координаты); информацию о постоянных ограничениях скорости на участке, а также расположение объектов путевой инфраструктуры (светофоров, нейтральных вставок контактного провода, станций, переездов, приборов обнаружения нагретых букс и др.).

Текущие параметры движения фиксируются бортовым регистратором, информация из которого затем записывается на съёмный носитель или, при наличии соответствующей инфраструктуры, передается в режиме реального времени по радиоканалу, накапливается на информационном сервере и затем обрабатывается с помощью АРМ.

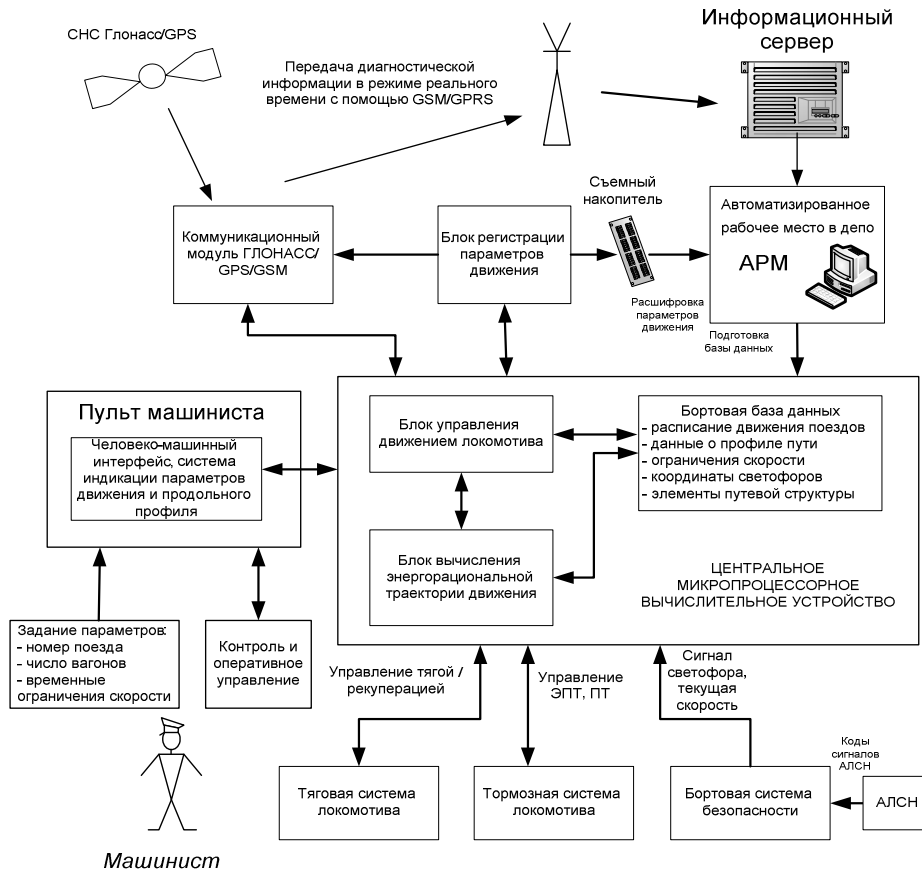


Рис. 1. Структура программно-аппаратных средств бортовой системы автоведения

На основе информации из бортовой базы данных блок вычисления энергорациональной траектории движения рассчитывает оптимальную программу ведения поезда по результатам упреждающего тягового расчёта [2]. Далее с учётом анализа текущей поездной ситуации (коды автоматической локомотивной сигнализации АЛСН, информация от бортовой системы безопасности) блок управления движением формирует команды управления тяговой и тормозной системами, включая электропневматический (ЭПТ) и пневматический (ПТ) тормоз.

Одним из важных требований, предъявляемых к системе автоведения, является соответствие нормам безопасности (НБ) по сертификации: выполнение ограничений скорости и реакция на сигналы автоблокировки (светофоры). Эти требования в значительной степени связаны с функцией автоматического управления тормозами. Испытания на соответствие НБ проводятся на специализированных полигонах и участках железной дороги. Вместе с тем, их проведение сопряжено со значительными трудностями и расходами. К их числу можно отнести: необходи-

мость наличия готовых образцов испытываемых изделий; вывод единиц подвижного состава из эксплуатации на время испытаний; сложность организации испытаний на участках железной дороги без создания затруднений движению пассажирских и грузовых поездов; высокая стоимость аренды испытательных полигонов; дополнительные расходы электроэнергии при испытаниях; сложность формирования и проведения опытных поездок с большегрузными и длинносоставными, а также сдвоенными поездами; существенные ограничения при испытаниях в условиях сложного профиля с потенциальной опасностью схода состава с рельс или его разрыва; воздействие на путь и износ оборудования локомотивов при проведении испытаний; возможное несоответствие параметров внешней среды (напряжение контактной сети, температура, влажность, состояние рельсового пути и др.) при испытаниях согласно методикам.

Поэтому для наладки и подготовки к испытаниям на основе классических положений теории электрической тяги, механики и электротехники [3] была разработана компьютерная имитационная модель системы автоведения электровоза [4]. Структура имитационной модели представлена на рис. 2, в основе которой лежит дифференциальное уравнение движения поезда: $a = \zeta \cdot f_r$, где $a = dv/dt$ – ускорение поезда; v, s – скорость и пройденный путь; ζ – ускорение поезда при действии на него удельной ускоряющей силы, равной единице; f_r – удельная равнодействующая сила; $f_r = f - w_o(v) - w_i(s) - b$, где $f = F/(P+Q)$, $b = B/(P+Q)$ – удельные силы тяги и торможения; F, B – сила тяги локомотива и тормозная сила; P, Q – массы локомотива и состава; $w_o(v), w_i(s)$ – удельные основное сопротивление движению поезда и дополнительное сопротивление движению от уклонов и кривых пути.

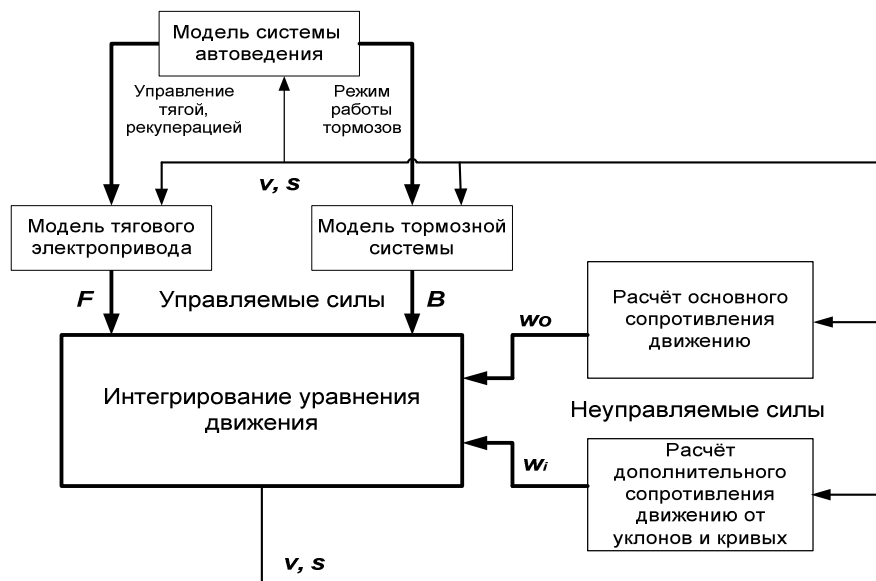


Рис. 2. Структура имитационной модели

При моделировании процесса управления тормозами $f = 0$ (тяги отключена), значение B рассчитывается по методике [5]. Результаты имитационного моделирования реакции системы на красный сигнал светофора представлены на рис. 3.

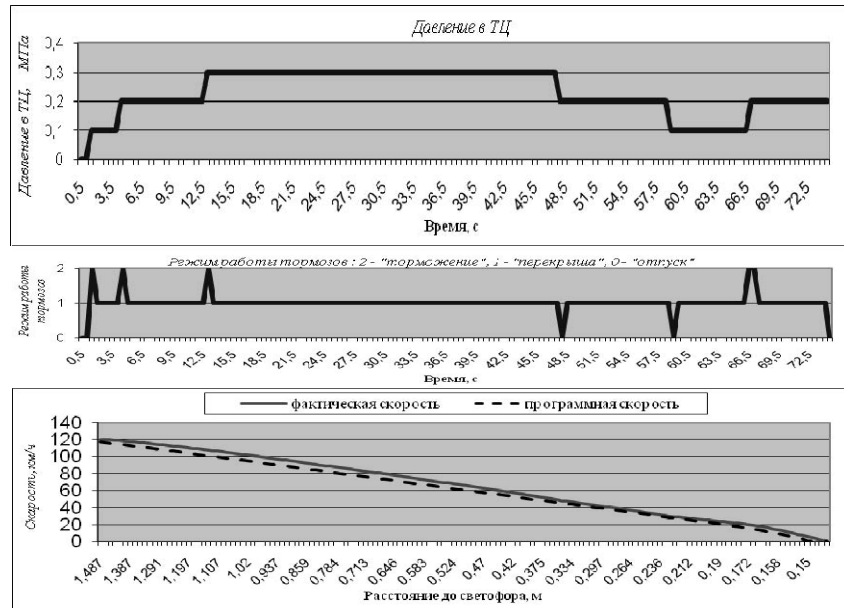


Рис. 3. Результаты имитационного моделирования реакции системы на красный сигнал светофора

Моделировался процесс торможения поезда массой 1000 т. На верхних графиках показано изменение давления в тормозных цилиндрах (ТЦ), МПа, в зависимости от режима работы тормозов: 0 – «отпуск», 1 – «перекрышка», 2 – «торможение». На нижнем графике показаны траектории программной и фактической скорости движения. Видно, что управляющий алгоритм обеспечивает реализацию программной траектории, в результате чего была обеспечена остановка поезда за 150 м до светофора.

Опытный вариант системы автоведения был испытан в рамках сертификационных испытаний электровоза ЭЭС5К на кольце НЭВЗа, а результаты представлены на рис. 4.

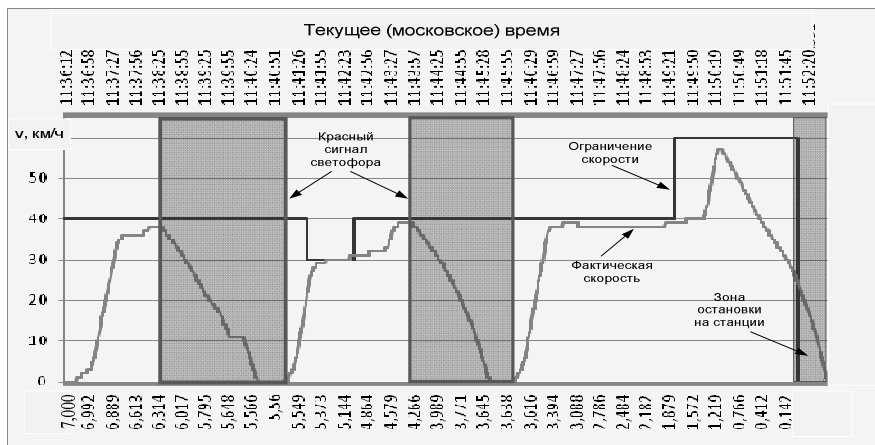


Рис. 4. Результаты испытания системы автоведения электровоза ЭЭС5К на кольце НЭВЗа

Таким образом, сертификационные испытания на испытательном кольце подтвердили возможность и эффективность вычислительного эксперимента с имитационной моделью для разработки и отладки бортовых систем автоведения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гапанович В.А., Розенберг И.Н. Основные направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 4. – С. 5-11.
2. Баранов Л.А., Головичер Л.М., Ерофеев Е.В., Максимов В.И. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Под ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
3. Розенфельд В.Е. Исаев И. П., Сидоров Н.Н. Теория электрической тяги: Учебник для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.
4. Юренко К.И., Юренко И.К. Имитационное моделирование систем автоведения поездов // Политранспортные системы Сибири: Материалы VI Всерос. НТК, Новосибирск, 21-23 апреля 2009 г.: В 2 ч. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2009. – Ч. 2. – С. 388-391.
5. Никифоров Б.Д., Головин В.И., Кутырев Ю.Г. Автоматизация управления торможением поездов // Автоматизация управления движением поездов. – М.: Транспорт, 1985. – 263 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Тютиков.

Юренко Константин Иванович – Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт); e-mail: ki-yurenko@yandex.ru; 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; тел.: +78635255779; кафедра «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»; к.т.н.; доцент.

Фандеев Евгений Иванович – e-mail: eif@inbox.ru; кафедра «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»; д.т.н.; профессор.

Yurenko Konstantin Ivanovich – South-Russian State Technical University (Novocherkassk Politechnic Institute); e-mail: ki-yurenko@yandex.ru; 132, Prosveshheniya street, Novocherkassk; 346428, Russia; the department "Automation and management of technological processes and productions"; cand. of eng. sc.; associate professor.

Fandeev Evgeny Ivanovich – e-mail: eif@inbox.ru; the department "Automation and management of technological processes and productions"; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 681.51

Ал.А. Колесников, И.Е. Хариш

СИНТЕЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ РАСПРОСТРАНЕННОГО КЛАССА

Рассматривается метод управления автоколебательными режимами химическими объектами распространенного класса. В химии и других отраслях промышленности распространены различные технологические процессы, в которых возникают нелинейные физико-химические реакции. К такому классу объектов относятся дисперсионные системы с химическими реакциями, например в задачах массовой кристаллизации из сложных растворов, процессы осаждения многокомпонентных пленок газовыми методами, процессы электролиза и т.д. В докладе рассматривается задача управления такого класса химическими объектами, описываемыми существенно нелинейными дифференциальными уравнениями. Такие объекты обладают свойством бифуркации и неустойчивости. Целью управления является обеспечение автоколебательных режимов, связанных с сущностью технологических процессов, например выращивание тонких пленок.

Химический объект; автоколебания; управление; нелинейная реакция; синергетическая теория управления.