

*Д. Б. АРКАТОВ*, аспирант НТУ «ХПИ»;

*Ю. М. БОРУШКО*, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ «НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА УКРАИНЫ»**

В данной статье приведено краткое описание железнодорожного транспорта Украины, являющегося предметной областью исследования. Были изложены основные проблемы железнодорожного транспорта, обоснована их актуальность, а также приведены существующие способы решения данных проблем. Сформулирована постановка задачи и перечислены вопросы, которые планируется решить в результате исследования. Приведено краткое описание информационных технологий, выбранных для дальнейшей алгоритмической и программной реализации

У даній статті наведено короткий опис залізничного транспорту України, що є предметною областю дослідження. Викладено основні проблеми залізничного транспорту, обґрунтована їхня актуальність, а також наведено існуючі способи рішення даних проблем. Сформульована постановка задачі й перераховано питання, які плануються вирішити в результаті дослідження. Наведено короткий опис інформаційних технологій, обраних для подальшої алгоритмічної та програмної реалізації.

In given article the short description of a railway transportation of Ukraine which is subject domain of research is resulted. The basic problems of a railway transportation have been stated, their urgency is proved, and also existing ways of the decision of the given problems are resulted. Statement of a problem is formulated and questions which is planned to solve as a result of research are listed. The short description of the information technology chosen for the further algorithmic and program realisation is resulted.

**Введение.** Железные дороги – базовая отрасль экономики Украины и основа ее транспортной системы: на их долю приходится 82,7 % грузооборота (без учета трубопроводного транспорта) и 42,5 % пассажирских перевозок. По объему перевозок грузов железные дороги Украины занимают четвертое место на Евразийском континенте (после Китая, России, Индии) и шестое в мире. Выгодное географическое положение страны усиливает роль железнодорожного транспорта и обуславливает один из наибольших в Европе потенциалов транзитности. Остальные магистрали Украины взаимодействуют с железными дорогами семи соседних стран через 56 пунктов пересечения границ и с 13 основными морскими портами Черного и Азовского морей, а также реки Дунай. Железнодорожная отрасль Украины ежегодно обеспечивает перевозку более 300 млн. тонн грузов и 500 млн. пассажиров. В сферу управления Государственной администрации железнодорожного транспорта Украины (Укрзалізниця) входят Донецкая, Львовская, Одесская, Южная, Юго–Западная и Приднепровская железные

дороги, а также другие объединения, предприятия, учреждения и организации отрасли. Все вместе они – единый производственно–технологический комплекс. Для обеспечения эффективной работы железнодорожного транспорта в настоящее время необходимы прорывные инновационные разработки, направленные на оптимизацию текущей и перспективной деятельности. Именно к таким разработкам относится интеграция современных спутниковых технологий, систем связи и передачи данных в повседневную работу железнодорожного транспорта. Применение этих технологий и оборудования особенно актуально и позволит обеспечить оптимальное управление транспортными потоками, переработкой грузов, контролировать местоположение транспортных средств и грузов, осуществлять непрерывное слежение и обеспечение условий безопасности.

Информация о местоположении подвижных объектов необходима для оптимального использования пропускной и провозной способности железных дорог и исключения опасных ситуаций (опасного попутного сближения, проезда светофоров с запрещенными сигналами, движения на запасной путь, превышения допустимой скорости в местах ее ограничения и т.д.). Автономное и автоматическое определение местоположения подвижных средств создает возможность реализации системы управления и обеспечения безопасности на новых принципах при минимальном количестве путевых технических средств.

Важно не только оснастить железнодорожные транспортные средства спутниковыми навигационными приемниками, но также обеспечить эффективное использование получаемых с их помощью навигационных данных в бортовых локомотивных и наземных программно-технических комплексах безопасности и управления перевозками и, таким образом, достичь реального технического и экономического эффекта.

Эффективность перевозочного процесса железнодорожного транспорта в значительной степени зависит от уровня его управляемости и степени обеспечения безопасности. Для этого железные дороги мира оснащаются все более новыми и совершенными техническими средствами управления и обеспечения безопасности движения поездов. При этом важнейшей задачей является непрерывный контроль местоположения и параметров движения подвижных составов.

В наше время, когда железнодорожный транспорт Украины находится не в наилучшем состоянии, его проблемы являются особенно актуальными, и их решение имеет большое влияние на "железнодорожное" развитие нашей страны. Главными из них являются: проблемы автоматизации перевозочного процесса, повышения эффективности перевозок, безопасности движения поездов, информационная поддержка локомотивной бригады, система контроля параметров локомотива, а также экономия энергетических ресурсов во время движения. Кроме того, в условиях тяжелого экономического состояния нашей страны необходимо учитывать стоимость ресурсов,

потребляемых на различные перевозки. Проблема выбора правильной скорости и правильного режима вождения поезда является сложной и трудоемкой задачей, которая служит причиной необходимости разработки соответствующего программного обеспечения.

**Безопасность железнодорожного движения.** Безопасность движения на железнодорожном транспорте – это комплекс организационно-технических мер, направленных на снижение вероятности возникновения фактов угрозы жизни и здоровью пассажиров, сохранности перевезенных грузов, сохранности объектов инфраструктуры и подвижного состава железнодорожного транспорта, экологической безопасности окружающей среды.

Самым распространенным и самым опасным нарушением безопасности движения на станциях является проезд локомотивом запрещающего показания светофора. Анализ причин проездов показывает, что они вызваны следующими причинами [3]:

- невнимательность при наблюдении за сигналами светофоров машинистами, невыполнение регламента переговоров – 54%;
- неправильное восприятие показаний светофоров, когда разрешающее показание другого светофора принимается за свое – 9%;
- несогласованность действий машиниста, дежурного по станции и составителя поездов – 9%;
- нарушение дисциплины машинистов (сон, алкогольное опьянение) – 8%;
- превышение допустимой скорости движения – 6%;
- несоблюдение технико-распорядительного акта станции – 6%;
- позднее применение тормозов, нарушение порядка их пробы – 5%;
- прочие причины – 3%.

Как видно из приведенных данных, основным фактором нарушения безопасности движения, связанного с проездом запрещающих сигналов, является т.н. «человеческий фактор». Именно поэтому многие разработки современных информационных технологий направлены на снижение влияния человека на безопасность движения.

**Контроль параметров локомотива.** В последние годы все больше внимания уделяется развитию скоростного и высокоскоростного движения поездов. Увеличение скорости движения влечет за собой повышение требований к техническому состоянию подвижного состава и путевого хозяйства. Однако до сих пор на железных дорогах Украины, при движении поездов, бывают случаи разрушения деталей из-за неисправностей, своевременно не выявленных при ремонте и эксплуатации подвижного состава. Причем результатом этих разрушений могут быть и человеческие жертвы, и материальные затраты, и значительное снижение эффективности перевозок. В любых ремонтных работах немаловажную роль играет

«человеческий» фактор, и часто именно ошибка бригады диагностики может привести к аварии и срыву перевозочного процесса. В частности такие ошибки могут быть допущены и по причине отсутствия достаточного опыта «ремонтников», ведь в данной сфере кадровая проблема одна из наиболее значительных (как и во всей железной дороге в целом).

**Информационная поддержка локомотивной бригады.** В настоящее время актуальным является автоматизированное вождение соединенных поездов с локомотивами (группами локомотивов), распределенными по длине состава, что позволяет повысить пропускную способность грузонапряженных участков. Ручное же ведение соединенных поездов сопряжено со значительным риском возникновения опасных продольных усилий в составе, связанное с проблемами учета профиля и плана пути, рассинхронизацией управления процессами тяги и торможения на различных локомотивах.

**Системы автоматизации перевозочного процесса разных стран.** Известны следующие системы, обеспечивающие информационную поддержку локомотивной бригады: Locotrol (GE), СМЕТ-Р, «Консул-Т». Однако недостатком этих систем является передача команд управления по радиоканалу – существенная нагрузка на канал связи с низкой пропускной способностью (12 каналов тональной частоты) и ограниченной дальностью действия (до 50 км).

Одним из путей исключения недостатков перечисленных систем является использование спутниковых технологий для определения точного месторасположения поезда и его скорости, а также использование технологи GSM для постоянной связи с диспетчером и передачи соответствующих сообщений о проходе контрольных точек по каналу GPRS.

Главным достоинством применения современных информационных технологий передачи данных заключается в том, что такая система позволяет вести локомотив с соблюдением режимов, при котором происходит экономия электроэнергии или дизельного топлива. Кроме того, соблюдать оптимальные режимы может одинаково, как машинист 1 класса, так и машинист 3 класса. Как показали научные исследования, на одном электровозе можно экономить до 25 тыс. грн. в год, а на одном тепловозе – до 80 тыс. грн. в год (в зависимости от его вида) [2].

Однако до настоящего времени с использованием существующих технологий исчерпаны практически все возможности системы управления безопасностью к дальнейшему развитию и расширению функциональности. Кроме этого, значительным недостатком использования таких систем является значительное влияние субъективного (человеческого) фактора. Поэтому достижение цели, обеспечение гарантированной (нормативной) безопасности при минимальном объеме ресурсов, требует применения новых принципов, методов и средств перехода к новому целевому состоянию системы управления эффективностью и безопасностью перевозок.

Примерами автоматизированных систем, частично или полностью решающих перечисленные выше проблемы могут служить Европейская система управления движением поездов – The European Train Control System (ETCS), Американская система контроля движения поездов Positive Train Control (PTC) и система КЛУБ–У, применяемая в России. Однако в развитых европейских странах, США и России используется стандарт GSM, который был модифицирован с учетом потребностей для железной дороги – GSM–Railway (GSM–R).

В Украине стандарта связи GSM–R нет, поэтому для выполнения задач связи и передачи данных необходимо осуществить выбор информационных технологий, применение которых целесообразно в техническом и экономическом плане.

**Постановка задачи исследования.** В общей модели системы функционирования железнодорожного транспорта разрабатываемая автоматизированная система, обеспечивающая выполнение необходимых задач, должна представлять собой совокупность бортового интеллектуального комплекса со средствами автоматизации, которые осуществляют позиционирование, контроль параметров локомотивов, а также информационную поддержку локомотивных бригад и наземного интеллектуального комплекса, обеспечивающего автоматизацию работы подразделений, управляющих перевозочным процессом.

При этом должно осуществляться взаимодействие разрабатываемой автоматизированной системы с комплексами, находящимися в настоящее время в эксплуатации, которые обеспечивают управление средствами железнодорожной автоматики и автоблокировки.

Необходимым условием создания автоматизированной системы является разработка:

- Специализированных навигационных карт, основным элементом которых является реальная инфраструктура железной дороги (станции, светофоры, устройства проверки и регулировки узлов и блоков аппаратуры, мосты, переезды и т.д.). Следует отметить, что применение множества стандартных карт не является достаточным, так как на них отсутствуют специфические объекты железнодорожной инфраструктуры.
- Бортового интеллектуального комплекса для подвижных средств (БИК).
- Наземного интеллектуального комплекса (НИК) для диспетчерских служб.
- Системы связи и передачи данных на основе современных информационных технологий (ССПД).

Специализированные электронные навигационные карты участков движения необходимо формировать с помощью специально разработанного

программного обеспечения. На подвижных средствах необходимо установить оборудование, обеспечивающее прием спутниковых сигналов, получение навигационной информации для формирования специализированных карт с учетом железнодорожной инфраструктуры.

Бортовой интеллектуальный комплекс должен представлять собой автоматизированную систему навигации, которая обеспечивает возможность автоматического приема, отображения и передачи навигационной информации, формирования сообщений о проходе поездом (локомотивом) необходимых опорных точек, повышения безопасности движения. При дополнении штатного оборудования локомотивов современной системой спутниковой навигационной информации и применении алгоритмов автоматизации, появится возможность отображения в режиме реального времени общей поездной обстановки для заданных участков движения.

Наземный интеллектуальный комплекс должен представлять собой комплекс аппаратных (сервера, АРМы) и программных средств, объединенных в единую систему, основное назначение которой: повышение надежности и оперативности контроля и управления потоками подвижного состава путем автоматизации процессов приема и обработки навигационной информации, определение дислокации локомотива (поезда), формирование и передача сообщений о проходе необходимых опорных точек в АСУ перевозочного процесса, планирование, координирование расчета параметров движения поездов, выбор оптимальных маршрутов движения.

Вместе с тем, для обеспечения функционирования столь сложной АСУ, в состав которой входят бортовые иностранные программно-технические комплексы, необходимо разработать специальную систему связи передачи данных на базе современных цифровых информационных технологий.

В настоящее время на железной дороге, для связи с подвижными объектами используются аналоговые системы радиосвязи, которые не позволяют обеспечить решение вышеперечисленных задач. К тому же эти системы имеют ограниченную дальность действия (50-100 км от станции), и не могут обеспечить передачу массива данных.

Поэтому актуальной задачей является выбор и внедрение таких информационных технологий, которые решали бы традиционные задачи существующих систем связи и одновременно обеспечивали решение задач современных бортовых и наземных интеллектуальных комплексов.

Отдельное внимание необходимо уделить целостности и безопасности передаваемых данных между составными частями автоматизированной системы. Без обеспечения должной защиты, конфиденциальности и целостности информации при ее передаче между рабочими станциями и точками доступа нельзя быть уверенным в том, что информация не будет подвержена сетевым атакам различного рода, что повлечет за собой временные и материальные затраты. Для выполнения этих задач широкое

применение должны найти сети VPN, различные алгоритмы криптографии и так далее.

**Выбор информационных технологий для разрабатываемой системы связи и передачи данных.** Для создания автоматизированной системы связи и передачи данных для железнодорожного транспорта необходим, помимо использования спутниковой навигации, стандарт связи, удовлетворяющий необходимые требования для функционирования всей системы в целом. Требуемая система связи должна обеспечивать высокую безопасность и надежность, предоставлять проверенные на практике решения, к тому же она должна быть инновационной и высокопроизводительной. Причем затраты в течение всего срока службы системы должны быть сведены к минимуму.

Учитывая европейский опыт реализации подобных систем передачи данных, телекоммуникационные технологии необходимо развивать в направлении стандарта GSM-R (Global System for Mobile Communications – railway), эффективность которого в техническом и экономическом плане подтверждена не только испытаниями, но и реальным применением в различных железнодорожных системах развитых европейских стран (см. табл. 1, табл. 2).

Несмотря на то, что мобильный оператор Киевстар–GSM обладает на данный момент лучшим покрытием в Украине (по официальным данным более 95% территории Украины), необходимо отметить, что качество этого покрытия не является удовлетворительным для функционирования системы передачи данных разрабатываемой системы. Это объясняется тем, что в большинстве случаев лучше «покрыта» территория населенных пунктов и автомобильных дорог (так как наличие покрытия на этих территориях являлось приоритетным на начальных этапах развития мобильной связи в Украине). Поэтому необходимым условие стабильной эксплуатации разрабатываемой автоматизированной системы, в частности системы передачи данных, является улучшение покрытия над всей железнодорожной инфраструктурой.

Однако на современном этапе развития информационных цифровых технологий передачи данных в Украине можно сделать вывод, что для реализации поставленной задачи возможно и рекомендуется использование стандарта мобильной связи GSM. Несмотря на наличие на украинском рынке более современных и перспективных технологий передачи данных (3G-интернет, WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)), альтернативы GSM нет, так как ни одна из новых технологий не способна удовлетворить требования по качеству покрытия (максимальный процент покрытия оператора 3G «Интертелеком составляет 70%) и надежности канала передачи данных. Помимо этого все новые технологии требуют высоких материальных затрат на расширение покрытия существующих сетей, что делает их использование невыгодным в экономическом плане.

Таблица 1 – Ситуация с внедрением системы ERTMS/ETCS  
2-го уровня в странах ЕС

Страна	Протяженность сети ETCS, км	Период начала обслуживания, квартал/ год	Количество эксплуатируемых средств, оснащенных оборудованием ETCS	Наличие/ отсутствие перегонных (напольных) сигналов
Бельгия	65	IV/2007		Нет
Франция	300	III/2008	48 локомотивов	Нет
Германия	150	IV/2005	5	Есть
Нидерланды (линия Betuweroute)	160	II/2007	>50	Очень мало
Италия (Рим – Неаполь)	216	IV/2005	27	Нет
Италия (Турин – Новара)	75	I/2006	27	Нет
Испания (Мадрид – Лерида)	460	II/2006	16 электропоездов (32 головные единицы)	Есть
Испания (Лерида – Таррагона)	120	IV/2006	16/32	Есть
Швейцария (Маттштеттен – Ротрист)	55	III/2006	474 (518)	Очень мало
Швейцария (линия Лёчбергского тоннеля)	40	III/2007	474 (518)	Очень мало
Примечание. Максимальная скорость на высокоскоростных линиях составляет от 200 до 300 км/ч.				

Для безопасного и стабильного обмена информацией между бортовыми комплексами и телематическим сервером рекомендуется использовать специализированные программные средства, позволяющие организовать распределенную корпоративную сеть, представляющую собой объединение отдельных компьютеров в виртуальной сети, которая обеспечивает целостность и безопасность передаваемых данных. Она должна обладать свойствами выделенной частной сети и позволять передавать данные между двумя компьютерами через промежуточную сеть (internetwork), например Internet.



Таблица 2 – Значения показателей качества услуг при передаче данных в сетях GPRS

Интенсивность ошибок при установлении соединения	$10^{-2}$
Максимальная задержка при передаче 30–байтового сообщения	0.5 с (для 99 % соединений)
Интенсивность потери соединения	$10^{-2}$ за час
Средняя продолжительность воздействия помехи при передаче	0,8 с (95 % вызовов) 1.0 с (99 % вызовов)
Средняя продолжительность отсутствия помехи при передаче	20 с (95 % вызовов) 0.7 с (99 % вызовов)
Задержки при регистрации в сети	30 с (95 % вызовов)
	35 с (99 % вызовов)
	40 с (100 % вызовов)

**Выводы.** В данной статье рассмотрены аспекты исследуемой предметной области, а также проблемы, существующие на данном этапе развития железнодорожного транспорта в Украине. Рассмотрены варианты решения данных проблем на примере зарубежных систем управления движением поездов. Осуществлена постановка задачи исследования с целью разработки и внедрения системы современных информационных технологий обработки и передачи данных, а также навигационных технологий в систему железнодорожного транспорта Украины. Приведено обоснование выбора информационных технологий для дальнейшей алгоритмической и программной реализации. Применение данных технологий является связующим звеном в разрабатываемой автоматизированной системе, работающей со специализированными электронными навигационными картами, с целью повышения безопасности дорожного движения, информированности локомотивной бригады, эффективности перевозочного процесса, а также автоматизации работы диспетчерских служб.

**Список литературы:** 1. *Борушко Ю. М.* «АСУ «Навигация и управление» на основе спутниковых технологий для железнодорожного транспорта» / *Ю. М. Борушко, С. Б. Семенов, Н. Н. Титов* // Спутниковые технологии и системы цифровой связи на службе железных дорог. – М. : ВНИИАС, 2007. – С. 33–37. 2. *Борушко Ю. М.* Применение спутниковых технологий на опытном полигоне южной железной дороги «Укрзалізниці» / *Ю. М. Борушко, Н. Н. Титов, В. Н. Остапчук* // «Евразия вести». – М. : ОАО РЖД, 2008. – С. 11-13. 3. *Венцевич Л. Е.* Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения поездов и расшифровка информационных данных их работы. – М. : Маршрут, 2006. – 328 с. 4. *Яценков В. С.* Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. – М. : Горячая линия –Телеком, 2005. – 272 с. 5. *Берлин А. Н.* Цифровые сотовые системы связи. – М. : Эко–Трендз, 2007. – 296 с.

Надійшла до редколегії 18.12.2011