



Рис. 7. Организационно-правовая и финансовая модель проекта

правовой схемы проекта, разработка концессионного соглашения, начало реализации проекта на основе концессии;

- формирование с участием зарубежных партнеров пула инвесторов проекта строительства ВСМ «Москва — Казань», организация пулов инвесторов для региональных проектов, старт проектов развития прилегающих территорий;
- разработка нормативной документации в сфере технического регулирования;

- завершение разработки техзадания на пассажирский подвижной состав и проекта ТЗ на грузовой подвижной состав, разработка технической документации для эксплуатации подвижного состава и инфраструктуры, подготовка контракта на поставку подвижного состава;
- обеспечение интеграции ВСМ в региональные и федеральные проекты развития;
- формирование пакета интеллектуальной собственности;
- решение ключевых вопросов в об-

ласти общественных рисов,

- взаимодействие с органами власти в области законодательства и поддержки проектов,
- подготовка кадров для высокоскоростного железнодорожного транспорта.

Проект строительства ВСМ является для России одним из наиболее значимых по своим последствиям для экономического и социального развития. Нет сомнения, что все причастные структуры приложат максимум усилий для его успешной реализации. ■

## Управление движением поездов на высокоскоростных магистралях: общесистемные требования



**А. Б. Никитин,**  
д.т.н., профессор,  
заведующий кафедры  
«Автоматика  
и телемеханика  
на железных дорогах»  
Петербургского  
государственного  
университета путей  
сообщения Императора  
Александра I

Дальнейшее развитие высокоскоростного движения в России связано с реализацией проекта магистрали «Москва – Казань – Екатеринбург», в рамках которого поставлена амбициозная задача движения со скоростью 400 км/ч. В ходе его осуществления на первые места выходят вопросы создания системы управления движением поездов, в частности, определение общесистемных требований к СУДП, включая выбор структуры и состав подсистем.

В мировой практике железнодорожных регулярных перевозок пока отсутствует опыт движения со скоростью 400 км/ч, однако есть ряд достижений максимальных скоростей во время испытаний и специальных поездок высокоскоростного подвижного состава [1, 2]. Это свидетельствует о практической возможности выполнения задачи, но требует на

ранних стадиях предъявить, а в последующем соблюсти повышенные технические и технологические требования для обеспечения регулярности движения при заявленных скоростях.

В связи с этим появилась необходимость создать специальные технические условия (СТУ), разработка которых поручена ученым и специалистам ПГУПС. Причем аргументами в пользу

привлечения именно этого разработчика были не только его высокие квалификация и профессионализм, но и его комплексная разработка всех составляющих: верхнего строения пути, земляного полотна, мостов, устройств электроснабжения, электро- и радиосвязи, системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), технологической безопасности и экологии. В общей сложности коллектив университета разработал 12 нормативных документов, которые на основе мирового опыта и с учетом отечественных исследований определили вектора проектирования и в ряде случаев сформулировали принципиально новые подходы для высокоскоростных магистралей (ВСМ).

В полной мере это относится и к системе управления движением поездов (СУДП) ВСМ. СТУ включают самые прогрессивные технологии и объединяют требования лучших мировых образцов. При этом в ходе применения уже имеющихся наработок СУДП возникают противоречия с нормативными документами. Речь идет о принципиально новой системе, которой не существует в арсенале тиражируемых систем. Практиче-

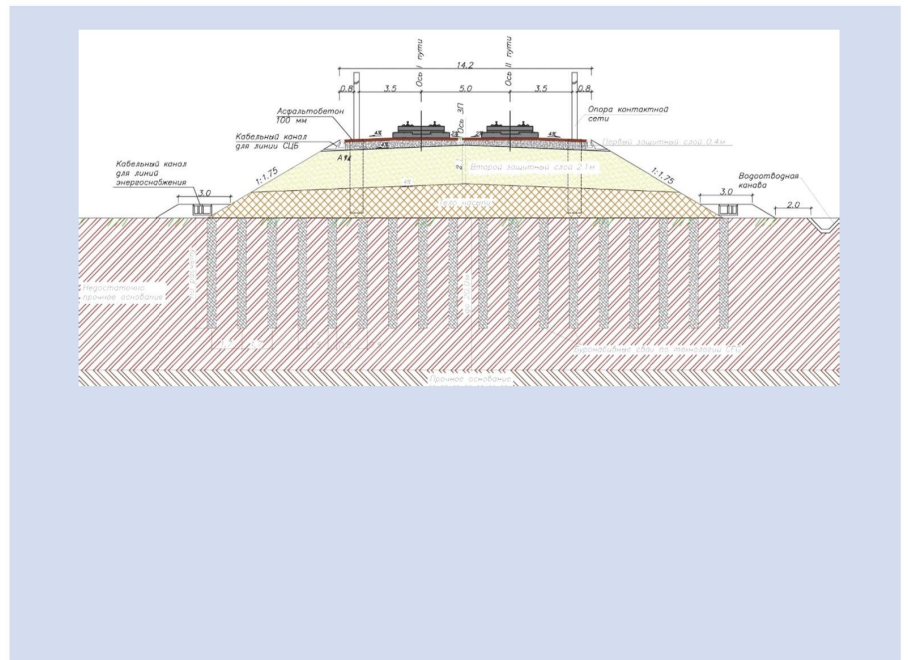


Рис. 1. Структура СДП ВСМ

ское воплощение заявленной в СТУ системы управления движением поездов позволит России не только иметь самую современную СУДП, но и определить перспективу модернизации систем СЦБ на магистральном транспорте, физиче-

ский износ которых сегодня превышает 80 % [3, 4].

Стратегически и политически важно, что задача решена российскими, а не зарубежными партнерами, которые сегодня пытаются представить свои





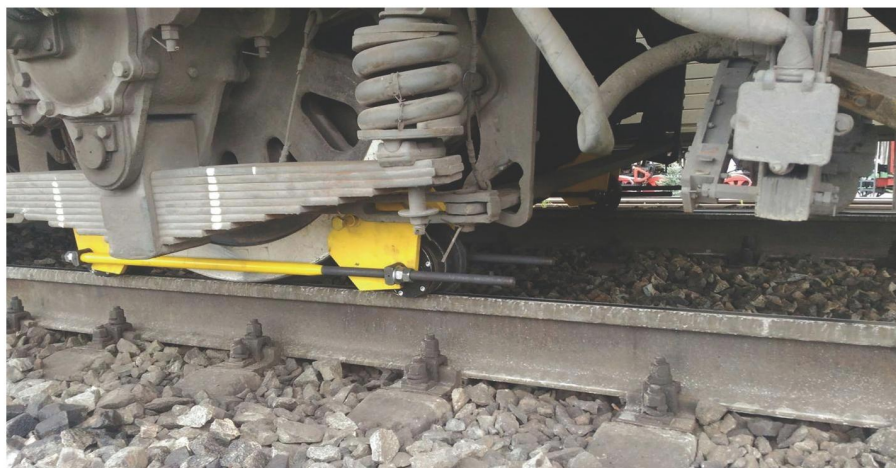


Рис. 2. Безопасные структуры систем ЖАТ

«ретушированные» варианты СУДП как соответствующие требованиям. Рассмотрим более подробно основные постулаты СТУ СУДП для ВСМ, обоснования архитектуры системы управления, принципов обеспечения надежности, живучести и интероперабельности.

### Технология высокоскоростного движения

Основной технологической особенностью высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва – Казань – Екатеринбург» является необходимость обеспечить управление смешанным движением высокоскоростных, скоростных пассажирских, ускоренных грузовых (контейнерных или контрейлерных) и хозяйственных поездов, поэтому функции СУДП должны быть увязаны с соответствующими категориями передвижений. В связи с этим дифференцируются следующие виды передвижений: высокоскоростные, поездные и маневровые. Каждый из главных путей на перегонах и станциях должен быть равнозначным с точки зрения направления движения поездов, обеспечения скоростного режима и интервала попутного следования.

Величина интервала попутного следования планируется от пяти минут, а в пригородных зонах крупных городов – не более двух-трех минут.

Раздельные пункты на линии проектируются с небольшим путевым развитием на расстоянии 30–40 км друг от друга. Для обеспечения возможности изменения главного пути при капитальном ремонте на перегонах проектируются диспетчерские съезды.

### Структура СУДП: базовые положения

СУДП должна строиться на принципах обеспечения автоматического управления и максимальной автоматизации функций операторов. Она содержит стационарную аппаратуру системы управления (САСУ), установленную на станциях – СПЦ (станционных пунктах управления) и в путевых пунктах концентрации (ППК), расположенных вдоль ВСМ, а также бортовую аппаратуру системы управления (БАСУ), размещаемую непосредственно на подвижном составе. Кроме того, в состав САСУ включена подсистема центра диспетчерского управления (ЦДУ) (рис. 1).

СУДП ВСМ должна объединить три иерархических уровня:

- **верхний** – диспетчерский:
  - системы диспетчерской централизации (ДЦ);
  - системы технической диагностики и мониторинга (СТДМ) ЖАТ;
  - увязку с другими системами управления устройствами инфраструктуры (электроснабжения, мониторинга объектов);
  - увязку с системами управления перевозочным процессом верхнего уровня (АСУ-Д, АУМ);
- **средний** – станционный:
  - средства автоматической идентификации;
  - системы интервального движения поездов (ИРДП);
  - системы электрической централизации (ЭЦ);
  - увязки с верхним уровнем, а также с другими устройствами и подсистема-

ми (заграждения, оповещения работающих на путях, управления механической очисткой или снеготаяния стрелочных переводов, информирования пассажиров);

- **нижний:**

- устройства передачи информации в бортовые устройства подвижных объектов;

- напольное оборудование (стрелки, светофоры, рельсовые цепи (РЦ) и др.).

ВСМ должна быть оборудована ДЦ. Основным режимом управления движением поездов должно являться диспетчерское управление из ЦДУ ВСМ с возможностью перевода в режим станционного управления при проведении плановых регламентных работ на инфраструктуре или при возникновении нестандартных ситуаций.

Информация от станций должна передаваться в ЦДУ ВСМ по резервируемым каналам ДЦ, содержать необходимые для принятия управляющих решений данные о местоположении подвижных единиц, состоянии объектов подсистем электрической централизации, интервального регулирования и других устройств. На всей линии, включая пригородные зоны, должна реализовываться автоматическая установка маршрутов для движения поездов всех категорий согласно графику.

Для компенсации отклонений фактических параметров движения от нормативного графика на линии должна быть внедрена интеллектуальная система поддержки принятия решения по минимизации конфликтов в поездной ситуации, включая автоматическую корректировку графика движения и передачу соответствующей информации на локомотив.

Подсистемы СУДП объединяются в комплекс посредством магистральной сети передачи информации на основе ВОЛС в соответствии с требованиями по защите информации и предотвращению киберугроз.

Для связи с бортовыми устройствами подвижных высокоскоростных транспортных средств должны использоваться резервированные цифровые радиоканалы, а также индуктивные рельсопроводные каналы доставки информации от традиционных подсистем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ).

С учетом применения на станциях и перегонах рельсовых цепей в проекте не предусматривается использование

напольных точечных средств передачи информации на локомотив – евробализ.

На станциях основным средством управления движением поездов всех категорий должна быть микропроцессорная электрическая централизация стрелок с бесконтактным управлением объектами [5–8]. Для небольшого количества объектов управления и контроля (стрелок и светофоров) наиболее эффективно применять децентрализованное размещение объектных контроллеров (вариант мультистанционных систем централизации).

Основным средством контроля свободности и занятости участков пути на станциях и перегонах, каналом передачи информации о состоянии впереди расположенных рельсовых участков, а также средством обеспечения контроля целостности рельсов являются рельсовые цепи тональной частоты (ТРЦ).

Участок должен оборудоваться системой интервального регулирования, состоящей из двух уровней, функционирующих постоянно:

- управление движением высокоскоростных и скоростных поездов по цифровому радиоканалу на основе информации, поступающей в РБЦ от электрической централизации на базе микропроцессорной централизации (МПЦ) и от системы интервального регулирования (на основе ТРЦ без проходных светофоров, обеспечивающих надежную фиксацию подвижных единиц на скоростях до 400 км/ч) с резервированием АЛС и многозначной АЛС-ЕН;
- управление движением остальных поездов посредством станционных светофоров и автоматической локомотивной сигнализации (АЛС и многозначной АЛС-ЕН) системы интервального регулирования.

Стационарные устройства ИРДП по радиоканалу должны обеспечивать движение поездов со скоростями до 400 км/ч, многозначная АЛС-ЕН в зависимости от технологии управления – со скоростями до 250 км/ч, АЛС – до 160 км/ч.

При деградации ИРДП должны соответственно изменяться скорости:

- от РБЦ к многозначной АЛС-ЕН, соответственно, регулирование в диапазоне скоростей от 400 до 250 км/ч;
- от многозначной АЛС-ЕН до АЛС, соответственно, снижение максимальных скоростей от 250 до 160 км/ч.

С учетом применения на станциях и перегонах рельсовых цепей в проекте

не предусматривается использование напольных точечных средств передачи информации на локомотив, таких как евробализ, а также датчиков контроля целостности состава поездов при локомотивной тяге, работающих по принципу «активного хвоста».

При разработке проекта должно предусматриваться использование средств автоматизации и информационных технологий управления и содержания инфраструктуры системы ЖАТ по задачам:

- мониторинг технического состояния средств;
- контроль регламентных процессов содержания устройств;
- ведение базы данных о неисправностях и ремонте технических средств;
- материально-техническое обеспечение инфраструктуры.
- ведение электронного паспорта на технические средства.

Аппаратно-приборное и программное обеспечение СУДП должно стыковаться с устройствами АСУ перевозочным процессом ВСМ для выдачи по ее запросам необходимой информации при ведении статистического учета и анализа работы магистрали, при выявлении возможных отклонений от графика и расчета эксплуатационных и экономических показателей, передаче актуальной информации для персонала ВСМ и пассажиров, сведений о коммерческой деятельности магистрали, при подготовке и контроле выполнения плана формирования поездов, при планировании и учете работ по обслуживанию и текущему ремонту технических устройств на линии. Кроме того, этот интерфейс должен обеспечивать передачу информации о прогнозном графике от систем управления перевозочным процессом в СУДП.

### Безопасность и надежность

Безопасная структура всех микропроцессорных систем безопасности ЖАТ должна быть реализована по архитектуре  $2^2 \vee 2^2$  (рис. 2). Такая архитектура является более удобной в эксплуатации по сравнению с более широко применяемой структурой  $2^3$ , поскольку позволяет, например, при корректировках программного обеспечения заменить его сначала на одном полукомплекте, опробовать (иногда в течение нескольких дней), а только после этого произвести полную замену на второй паре. Кроме того, таким образом спроектированное аппаратно-программное обеспечение систем

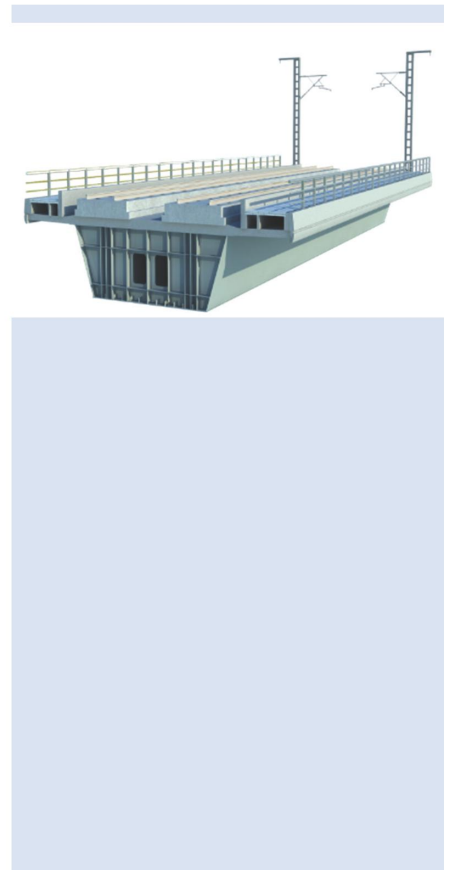


Рис. 3. Контуры обеспечения безопасности на ВСМ

ЖАТ обеспечивает в максимально возможной степени поочередное обслуживание, ремонт, модернизацию системы, изменение технологических процессов без прекращения действия СУДП и предоставления длительных «окон».

Архитектура СУДП по маршрутам высокоскоростного движения должна предусматривать стопроцентное резервирование всех узлов системы, включая модули сопряжения по контролю и управлению или резервирование функций по уровням управления. Применение вычислительных средств и микроэлектронных плат увязки с исполнительными устройствами позволяет реализовать эту функцию путем аппаратной избыточности СУДП. Это требование принято на основе опыта резервирования наиболее важных элементов в системах электрической централизации метрополитенов, где особенно велика цена перерыва движения для мегаполиса [9]. Даже в системах маршрутно-релейной централизации применяется специальная схема переключения на резервный комплект пускового блока для управления стрелкой или, например, используется специальная выделенная физическая линия связи для переключения на резервный комплект линейного пункта ДЦ.



Иерархия структуры СУДП позволит реализовать многоконтурность подсистемы обеспечения безопасности. На рис. 3 показаны три контура:

- централизованный, на уровне ЦДУ, реализующий интервальное регулирование движения поездов и автоматическую установку маршрутов;
- децентрализованный — станционный уровень, представляющий собой модернизированные устройства СЦБ, обеспечивающие преемственность с действующими в настоящее время системами СЦБ;
- бортовой, исключающий угрозу безопасности на основе информации о движении поездов встречного и попутного направлений.

Кроме перечисленных автоматических контуров сохраняется возможность включения в процесс управления движением поездов человека (диспетчера, дежурных по станциям, машинистов). Переход к ручному управлению представляет собой резервный контур.

Надежность системы ИРДП достигается использованием двух независимых физически разнородных каналов управления: по радио и по рельсопроводному каналу с реализацией функций регулирования скорости при деградации.

Также следует предусмотреть в проекте и реализовать следующие дополнительные мероприятия, направленные на повышение надежности систем ЖАТ:

- функции МПЦ и ИРДП реализовать по возможности в отдельных УВК с организацией обмена информацией по цифровому интерфейсу;
- в рамках реализации комплекса мер по защите устройств от перенапряжений принять в качестве основного вариант децентрализованного размещения объектных контроллеров управления стрелками и светофорами;
- в составе электропитающих устройств ЖАТ применить систему бесперебойного питания на основе шины постоянного тока;
- для работы устройств АЛС принять единую частоту 75 Гц для участков с электротягой на постоянном и переменном токе.

### Интероперабельность и живучесть на ВСМ

При проектировании следует увязать управление движением поездов в зонах сопряжения с действующими линиями магистрального транспорта. Это обусловлено тем, что в отдельных

случаях (например, в нештатных ситуациях привлечение дополнительных восстановительных и пожарных поездов, другой спецтехники) может возникнуть потребность захода на ВСМ подвижного состава ОАО «РЖД». С этим связана необходимость обеспечения в системе ВСМ традиционных функций управления и способов передачи данных на ПЕ [10]. По этой причине система сигнализации для поездов всех категорий должна максимально соответствовать требованиям российской Инструкции по сигнализации как для стационарных светофоров, так и для путевых и бортовых систем безопасности. СУДП должна обеспечивать безопасное взаимодействие ВСМ с соединительными линиями железных дорог общей сети исходя из приоритетного обеспечения условий высокоскоростного движения.

Для единства технологии регулирования движением поездов должны быть типизированы бортовые устройства с помощью специализированных бортовых средств для работы в среде управления как по радиоканалу, так и по рельсопроводному каналу – АЛС и АЛС-ЕН.

Живучесть и непрерывность перевозочного процесса при возникновении затруднений на ВСМ (в особенности для ввода поездов в конечные пункты назначения) должны обеспечиваться возможностью передвижения высокоскоростного подвижного состава магистрали по линиям общего пользования, т.е. должна быть совместимость с существующими системами управления.

### Заключение

1. Одним из основных решений в рамках рассматриваемой проблемы является создание и применение отечественных разработок и российского промышленного производства продукции для системы управления и обеспечения безопасности движением поездов. Это позволит не только иметь в России самую современную систему управления, но и определить на перспективу путь модернизации ЖАТ на магистральном транспорте, где эксплуатируются физически и морально устаревшие системы СЦБ.

2. Резервирование компонентов системы – основа достижения высоких показателей надежности и гарант непрерывности перевозочного процесса. Заявленная безопасная архитектура системы  $2^*2v2^*2$  не только обеспечивает стопроцентное резервирование, но и позволяет поочередно выполнять на

полукомплектах обслуживание, ремонт, модернизацию системы, производить изменения технологических процессов без прекращения действия СУДП.

3. Основой обеспечения высокой скорости на ВСМ является переход на новые принципы регулирования с использованием радиоканала. Использование традиционных устройств рельсовых цепей, рельсопроводного канала передачи на локомотив данных АЛС-ЕН и АЛСН позволяет дублировать основную систему управления по радиоканалу, а также обеспечивает интероперабельность с линиями магистрального транспорта. ■

### Литература:

1. Киселёв И. П. и др. Высокоскоростной железный транспорт. Общий курс: учеб. пособие: В 2 т. М.: УМЦ ЖДТ, 2014. Т. 1 – 308 с.; т. 2 – 372 с.
2. High speed rail Fast track to sustainable mobility. Nov. 2010. С. 29.
3. Сапожников В. В., Никитин А. Б. Анализ компьютерных систем оперативного управления устройствами ЭЦ // Автоматика связь, информатика. 2006. № 6. С. 6–8.
4. Никитин А. Б., Кононов В. А., Лыков А. А. Основы проектирования электрической централизации промежуточных станций. М.: УМЦ ЖДТ, 2013. 348 с.
5. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ. СПб.: ПГУПС, 1994. 120 с.
6. Никитин А. Б., Тильк И. Г. Централизация компьютерного управления перевозочным процессом на станции // Транспорт Урала. 2006. № 2. С. 9–13.
7. Никитин А. Б., Ковкин А. Н. Управление стрелочными электроприводами в компьютерных системах горочной централизации // Автоматика на транспорте. 2015. Т. 1, № 1. С. 51–62.
8. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / под ред. В. В. Сапожникова. М.: Транспорт, 1995. 272 с.
9. Сапожников В. В., Никитин А. Б. Микропроцессорная система электрической централизации МПЦ-МПК // Наука и транспорт. 2009. С. 18–21.
10. Никитин А. Б., Болтаев С. Т., Глыбовский А. М. Особенности реализации функций электрической централизации для высокоскоростных поездов на линиях смешанного движения // Изв. ПГУПС. 2016. № 2. С. 215–228.