

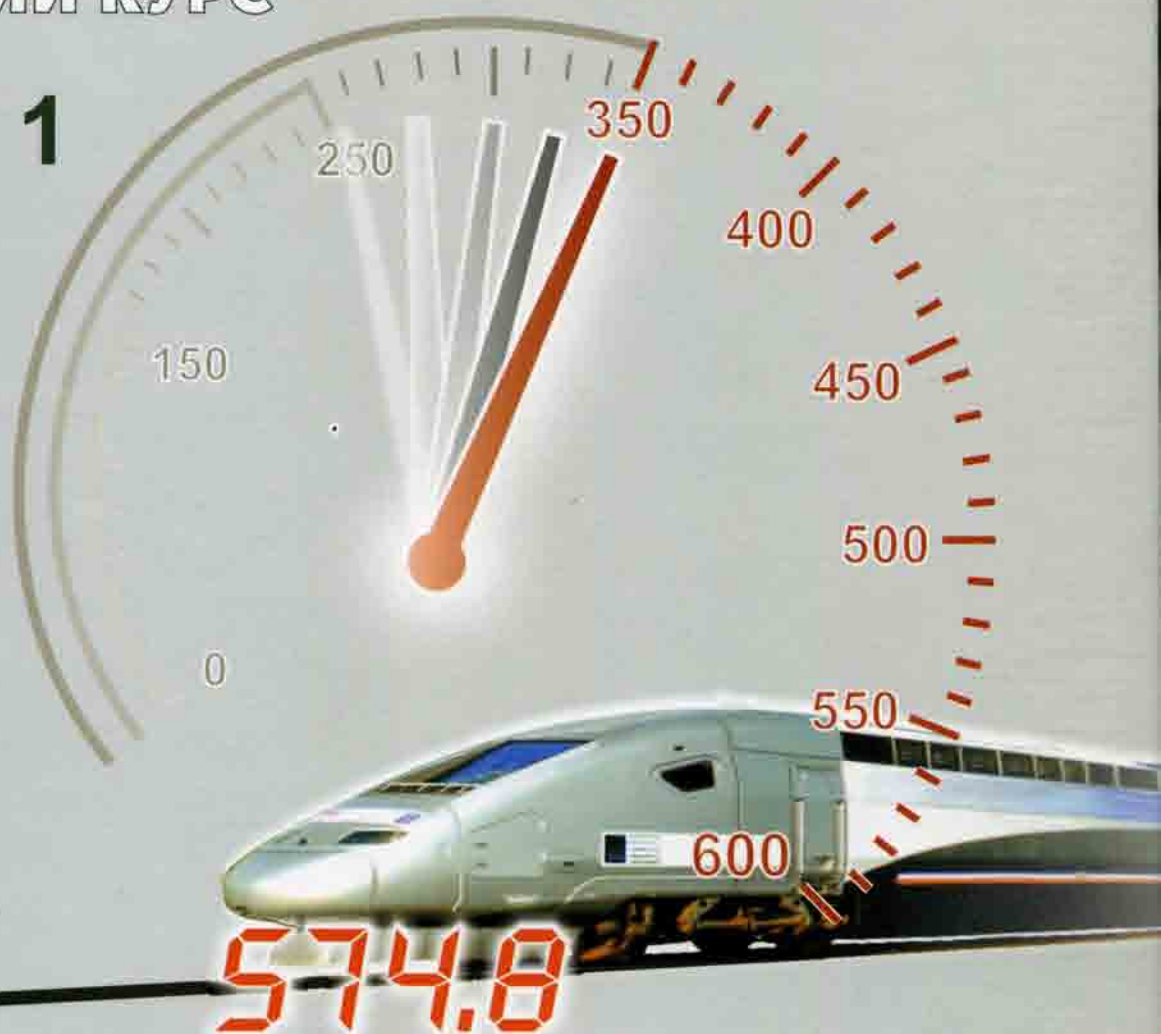
656.2

В 93

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

ОБЩИЙ КУРС

Том 1



УДК 629.4
ББК 39.29
В93

Рекомендовано Экспертным советом по рецензированию Московского государственного университета путей сообщения, уполномоченным приказом Минобрнауки России от 15 января 2007 г. № 10, к использованию в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальностям 08.05.02 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей», 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог», 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов» и направлениям подготовки магистратуры 08.00.00 «Техника и технологии строительства», 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта» ВО.
Регистрационный номер рецензии 602 от 24 декабря 2013 г. базового учреждения
ФГАУ «Федеральный институт развития образования»

Авторы: введение, гл. 1—8, 10—11 — И.П. Киселёв; гл. 6, 7 — Л.С. Блажко; гл. 10 — А.Т. Бурков; гл. 5 — Н.С. Бушуев; гл. 1 — В.А. Гапанович; введение, гл. 1 — В.И. Ковалёв; гл. 8 — А.П. Ледяев; гл. 11 — А.Б. Никитин; п. 11.6 — П.А. Плеханов; гл. 10 — В.М. Саввов; п. 8.1 — В.Н. Смирнов; гл. 4 — Ю.И. Соколов; гл. 9 — В.С. Суходоев; п. 3.2, 3.3 — Т.С. Титова; п. 8.2 — Ю.С. Фролов

Рецензенты: зав. кафедрой «Автоматизированные системы электроснабжения» ФГБОУ ВПО РГУПС, д-р техн. наук, проф. Ю.И. Жарков; главный научный сотрудник ОАО «ВНИИЖТ», д-р техн. наук, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, проф. Е.А. Сотников

В93 Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: учеб. пособие: в 2 т. / И.П. Киселёв и др.; под ред. И.П. Киселёва. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014.

ISBN 978-5-89035-732-8

Т. 1. — 308 с.

ISBN 978-5-89035-734-2

Освещены основные этапы развития и современное состояние высокоскоростных железных дорог в мире и России; изложены вопросы проектирования и сооружения высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ); рассмотрены конструктивные особенности стационарных устройств, социально-экономические и экологические аспекты создания и эксплуатации ВСМ, в том числе проведено сравнение с нетрадиционными системами высокоскоростного сухопутного транспорта.

Предназначено для студентов и аспирантов транспортных вузов, специалистов в области транспорта.

УДК 629.4
ББК 39.29

На первой странице обложки: фотоколлаж — электровоз опытного высокоскоростного поезда V150 (Франция), установившего 3 апреля 2007 г. мировой рекорд скорости на железных дорогах 574,8 км/ч (фото: <http://trainoftheweek.blogspot.ru/2010/02/alstom-v150.html>); на последней странице обложки: рисунок паровоза «Ракета», установившего 8 октября 1829 г. первый рекорд скорости на рельсовом транспорте 24 мили в час (38,6 км/ч).

ISBN 978-5-89035-734-2 (т. 1)
ISBN 978-5-89035-732-8

© Коллектив авторов, 2014
© Киселёв И.П., Босов С.А., дизайн обложки, 2014
© ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014

Введение

Увеличение скорости передвижения — объективная потребность развития человечества, одна из составляющих научно-технического прогресса. Во все времена скорость движения была тем интегрирующим показателем, который характеризовал состояние транспорта, а в значительной мере и уровень инженерно-технического и экономического развития общества.

На протяжении десятков тысячелетий, примерно до начала XIX в., приращение доступной человеку скорости было очень незначительным. Внутри достигнутого скоростного диапазона с незапамятных времен люди разделяли передвижение, перевозки на те, которые можно отнести к «обычным», и такие, которые совершаются с большей скоростью, согласно современной терминологии относимые к «высокоскоростным». Разница в скорости между обычным и быстрым передвижением, некая «дельта» скорости составляет приращение, необходимое для «высокоскоростного» движения. То, что вчера относили к скоростному движению, сегодня становится «обычным». Для достижения указанной разницы в скорости всегда были необходимы дополнительные затраты людских, материальных ресурсов, средств (в денежном выражении), потребных для усовершенствования транспортных систем.

Ускорение всевозможных действий — четко просматриваемая тенденция в жизни людей, возникшая в XVIII в. с началом промышленной революции. В производстве это выражается либо в получении определенного эффекта за более короткий срок, либо большего эффекта в определенный временной интервал; на транспорте — в увеличении скорости перевозки грузов и доставки пассажиров. Человек стремится «сблизить» удаленные друг от друга пункты, сокращая время перемещения между ними.

В истории развития транспорта необходимо отметить четыре этапных скачкообразных увеличения доступной человеку скорости передвижения. Первый скачок связан с началом использования животных и изобретением парусного оснащения судна; второй — с появлением механического транспорта: судов с паровым приводом, автомобилей, железных дорог; третий — с постройкой летательных аппаратов с механическими двигателями; четвертый — с развитием ракетной техники и началом освоения космоса.

На железных дорогах существенный рост скорости движения произошел в 30—40-е годы XX в., что было обусловлено переходом на более прогрессивные виды тяги: использование двигателей внутреннего сгорания и электродвигателей. Следующий скачок скорости движения на железных дорогах пришелся на 50-е годы прошлого столетия: начало коммерческой эксплуатации поездов во Франции со скоростью до 200 км/ч. Термин «высокоскоростное движение» начинает широко употребляться в середине 60-х годов после открытия первой в мире высокоскоростной железнодорожной магистрали (ВСМ) Токио — Осака в Японии в 1964 г. Здесь были комплексно созданы и стационарные устройства, и подвижной состав, и компоненты инфраструктуры для движения со скоростью более 200 км/ч. Начало истории высокоскоростных железнодорожных магистралей принято относить именно к 1964 г.

К середине 2013 г. всего в мире эксплуатировалось около 20,7 тыс. км ВСМ. С учетом реконструированных линий полигон обращения скоростных и высокоскоростных поездов составил примерно 25 тыс. км.

Высокоскоростные железнодорожные магистрали представляют собой сложный технический комплекс, включающий как технические элементы, такие как инфраструктура, подвижной состав и системы управления, так и технологические приемы, в частности, организация эксплуатации, обслуживания систем и устройств, а также компоненты, позволяющие решать финансовые, коммерческие, экологические, социальные и управленческие задачи с учетом человеческого фактора. Высокоскоростной железнодорожный транспорт представляет собой систему различных элементов, каждый из которых является высочайшим достижением в своей области техники и технологии. Это новый быстроразвивающийся вид транспорта, часто справедливо называемый «транспортом будущего».

Перевозки по высокоскоростным железным дорогам обладают важными качествами, предлагаемыми потребителям и обществу: безопасность, высокая провозная способность и экологическая чистота. Они являются инструментом политической интеграции, обеспечивают связь между регионами, стимулируют модернизацию других видов транспорта, существенно повышают мобильность людей. Так же, как сеть метрополитена объединяет районы города, ВСМ связывают в единое пространство регионы на территории страны, обеспечивают сообщение с другими государствами.

Высокий уровень безопасности и комфорта на высокоскоростных специализированных линиях обеспечивается соответствующими проектными параметрами и инженерно-техническими решениями, их оптимальной строительно-технологической реализацией, созданием необходимой инфраструктуры, а также эффективной системой контроля, технического обслуживания и ремонта подвижного состава и стационарных устройств.

Экономическая и социальная привлекательность в масштабах государства, относительно небольшое отрицательное воздействие на окружающую среду по сравнению с другими видами транспорта сформировали общественное мнение в промышленно развитых странах в пользу высокоскоростных железных дорог. Решения о сооружении таких линий приняты в качестве государственных программ в большинстве технически развитых стран. В Европе эти программы вышли на межгосударственный уровень — создается единая Европейская сеть ВСМ.

Как показал опыт эксплуатации высокоскоростных линий в ряде стран, максимальные скорости движения поездов в зависимости от конкретных условий и конструктивных параметров линий достигают 250—350 км/ч. При обеспечении заданного уровня безопасности и комфорта ВСМ имеют явные преимущества в сравнении с другими видами транспорта при массовых перевозках пассажиров в дневных поездах на расстояния 400—800 км в вагонах с местами для сидения и на 1700—2500 км — в спальнях вагонов ночных поездов.

В середине XX столетия некоторые ученые и инженеры-транспортники предсказывали конец эпохи железных дорог. В Великобритании, США и ряде других стран протяженность железнодорожной сети уменьшалась, закрывались не только малодеятельные линии, но даже и участки магистралей. Пассажирские перевозки внутри континентов все больше брал на себя автомобильный транспорт; в авиации было создано новое поколение авиалайнеров большой вместимости с турбовинтовыми и турбореактивными двигателями. В средствах массовой информации нередко публиковались сообщения о проектах монорельсовых дорог, аэропоездов на воздушных подушках, экспрессов на «струнных дорогах». Казалось, что в ближайшем будущем будут реализованы и проекты супермагистралей с поездами на магнитном подвешивании. Однако жизнь не подтвердила эти прогнозы.

Традиционная транспортная система «колесо—рельс» показала надежность, экономическую эффективность, высокий уровень комфорта, а главное — высокую безопасность, в том числе и экологическую, что стало особенно актуальным в настоящее время. Высокоскоростные железные дороги уверенно продолжили свой путь в XXI столетие.

Россия вплотную подошла к сооружению ВСМ. На государственном уровне приняты решения, определяющие перспективы отечественного железнодорожного транспорта, в том числе и высокоскоростного железнодорожного движения. Они сформулированы в «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» и в Указе Президента Российской Федерации «О мерах по организации движения высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации» (2010 г.)¹.

В комплексе задач по развитию в стране высокоскоростного железнодорожного движения одной из важнейших является подготовка кадров, что определено в названных документах. В ряде высших и средних специальных учебных заведений ведется подготовка специалистов в указанной области. Общие и специальные учебные курсы, связанные с высокоскоростным железнодорожным движением, включены в программы по направлениям обучения магистров, бакалавров и специалистов. Выпуск настоящего учебного пособия, подготовленного учеными Петербургского государственного университета путей сообщения совместно с руководителями и специалистами ОАО «Российские железные дороги», а также предприятий железнодорожного транспорта, непосредственно связанных с решением вопросов высокоскоростного движения, является первой попыткой издания комплексного учебно-методического материала в помощь преподавателям и студентам транспортных вузов, специалистам отрасли. Пособие охватывает практически весь круг проблем, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией ВСМ. Издание подготовлено на основе анализа и обобщения отечественного и мирового опыта, с учетом документов и материалов в данной области, опубликованных Международным союзом железных дорог.

В подзаголовке настоящего издания значится «Общий курс», т.е. пособие призвано дать общее представление о сложном социально-экономическом и техническом механизме высокоскоростного железнодорожного транспорта. Вслед за ним должны появиться специальные учебные пособия и учебники по отдельным направлениям, сегментам, элементам общей проблемы.

Для удобства читателей пособие разбито на два тома. В первом томе кратко представлена история высокоскоростного железнодорожного движения, освещены вопросы проектирования, строительства высокоскоростных железных дорог, описываются основные компоненты инфраструктуры ВСМ. Во второй том включено описание особенностей подвижного состава ВСМ, эксплуатации и обеспечения безопасности высокоскоростного железнодорожного движения, подготовки кадров и обслуживания пассажиров.

Авторы выражают благодарность сотрудникам научно-технической библиотеки Петербургского государственного университета путей сообщения во главе с Л.М. Родионовой за большую помощь в подготовке пособия, а также руководству и специалистам ОАО «Скоростные магистрали», ОАО «Ленгипротранс» и профессору Петербургского государственного университета путей сообщения Ю.И. Ефименко, которые ознакомились с рукописью и внесли ценные замечания и предложения.

¹ «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года». — М., 2007. — 70 с. прил. / Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р // <http://www.garant.ru>. Текст распоряжения официально опубликован не был; Указ Президента Российской Федерации от 16 марта 2010 г. № 321 «О мерах по организации движения высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации» // Российская газета. 2010. 19 марта.

Глава 1

Высокоскоростной железнодорожный транспорт и его место в современных транспортных системах

1.1. Предыстория высокоскоростного железнодорожного транспорта

Железнодорожный транспорт как отрасль зародился в 1825 г.¹ в Англии с открытием первой железной дороги общего пользования Стоктон — Дарлингтон, построенной под руководством Дж. Стефенсона. Первая скоростная железнодорожная магистраль в истории человечества — линия Манчестер — Ливерпуль, была сооруженная им же в 1830 г. Она строилась уже в расчете на постоянное использование паровой тяги, причем с высокой скоростью движения — до 50 км/ч. Именно на ней в октябре 1829 г. были впервые официально проведены скоростные испытания локомотивов в ходе конкурса на лучшее средство тяги для новой дороги. Победителями были признаны отец и сын — Джордж и Роберт Стефенсоны, представившие паровоз «Ракета» (рис. 1.1), который развил скорость 24 мили в час (38,6 км/ч)².

Своеобразным рубежом, который отделяет «обычное» движение от «высокоскоростного», в представлении многих истори-

ков стала круглая цифра 100 миль в час (160,9 км/ч). Этот рубеж скорости был преодолен в сентябре 1839 г. на дороге «Грейт Вестерн» в Великобритании одиночным паровозом «The Hurricane», (от англ. «Ураган») (рис. 1.2) с ведущими колесами диаметром 10 футов (3048 мм). На первой магистральной железной дороге России, открытой в 1851 г., скорость поездов в начальный период эксплуатации доходила до 50 км/ч.

К концу XIX столетия в технически развитых странах (Великобритания, Франция, Германия, США) пассажирские поезда, ходившие по расписанию, развивали скорость

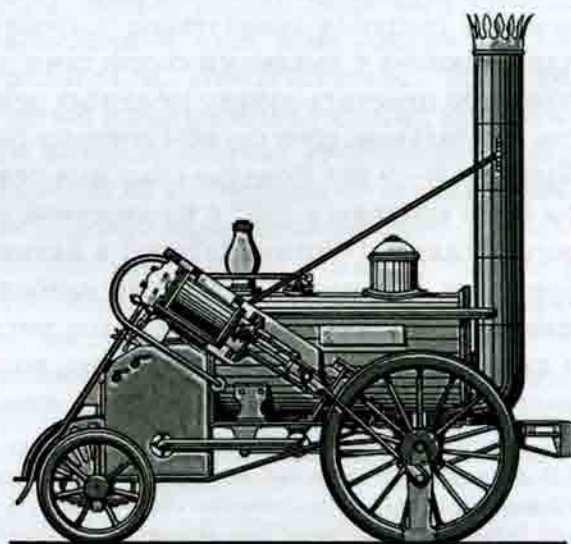


Рис. 1.1. Паровоз «Ракета». Великобритания. 1829 г. (Реконструкция)

¹ Дорога предназначалась, прежде всего, для перевозки грузов, хотя на ней выполнялись и пассажирские перевозки, в основном конной тягой.

² По другим данным — 29 миль/ч (46,6 км/ч).

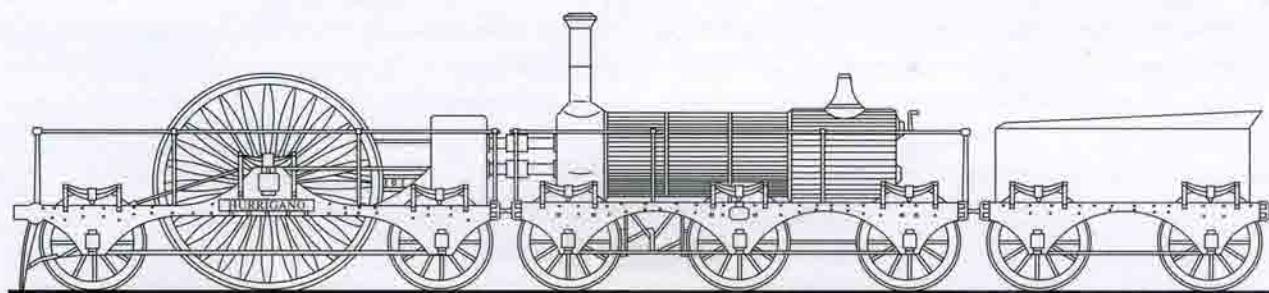


Рис. 1.2. Гоночный паровоз «Ураган». Великобритания. 1839 г.

70—80 км/ч. 20 июля 1890 г. во Франции поезд массой 157 т с паровозом «Крэмптон» № 604 типа 2-1-0¹, развил на магистрали «Париж — Лион и Средиземноморье» скорость 144 км/ч. В США 10 мая 1893 г. (по другим сведениям 11 мая) поезд «Эмпаер Стейт Экспресс» с паровозом № 999 типа 2-2-0 (рис. 1.3) на железной дороге «Нью-Йорк Централ и Гудзон ривер» на спуске с уклоном 2,8 ‰ достиг скорости 112,5 миль/ч (181 км/ч).

Увеличение скорости движения поездов потребовало комплексного улучшения как подвижного состава, так и всех стационарных устройств железных дорог: пути, мостов, систем сигнализации, централизации и блокировки, связи, обеспечивающих управление движением поездов и безопасность перевозок. Из важнейших технических решений, связанных с определенными этапами создания технических устройств для движения с высокими скоростями необходимо отметить замену железных рельсов на стальные, срок службы которых был больше в 8—9 раз. Впервые стальные рельсы были уложены в 1857 г. на железной дороге Мидлэнд (Midland Railway) в Великобритании. К началу XX столетия наибольшее распространение, в мире, в том числе и для высокоскоростного движения, получили широкоподошвенные рельсы, имею-

щие преимущества по конструкционным, технико-экономическим и эксплуатационным показателям и вытеснившие из экс-



Рис. 1.3. Паровоз № 999 типа 2-2-0. США. 1893 г.

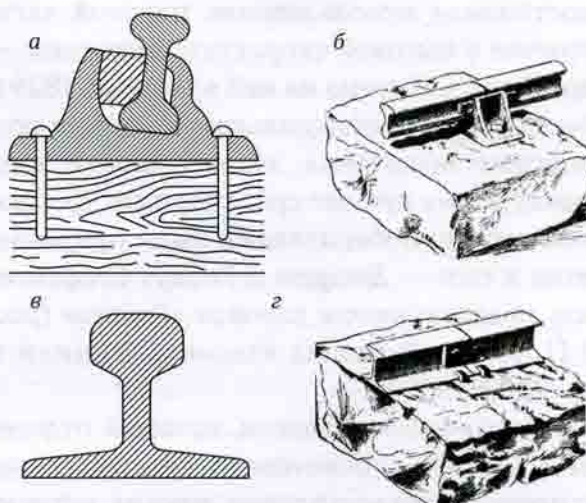


Рис. 1.4. Поперечное сечение рельсов и конструкция первоначального крепления рельсов на каменных подушках (стульях): а, б — двухголовый рельс в литой вертикальной чугуновой подкладке (разрез и крепление); в, г — широкоподошвенный рельс (разрез и крепление). Середина 50-х годов XIX в.

¹ В обозначении типа паровоза (осевой формулы) приведенные числа соответствуют числу осей: передних бегунковых; ведущих (движущих или сцепных); задних поддерживающих (как правило, расположенных под будкой машиниста). Например, тип паровоза 2-1-0 означает, что машина имеет две бегунковые, одну ведущую и не имеет поддерживающих осей.

плутации так называемые «двухголовые» английские рельсы (рис. 1.4).

Уже на первых железных дорогах возникла потребность в передаче условных знаков, сигналов для обеспечения коллективных действий по организации перевозочного процесса, в который были вовлечены «агенты движения»¹: станционные работники (дежурные по станциям), стрелочники, сигналисты, позже появились диспетчеры, а также члены локомотивных, поездных бригад — машинисты, их помощники, кочегары, кондукторы, проводники и тормозильщики.

И установка маршрута, и регулирование скорости движения поезда, с точки зрения управленческого воздействия на технические устройства, представляют многозвенный процесс. В течение длительного периода (почти до середины XX в.) техническое обеспечение не позволяло ни руководителю движения (дежурному по станции, диспетчеру), ни машинисту локомотива, осуществлять напрямую (без совместных действий многих участников) задание маршрута и управление поездом. Для осуществления согласованных действий работников на железных дорогах началось использование сигналов (видимых и звуковых), различных приборов для их подачи: флажков, фонарей, колоколов, свистков, а также сигнальных дисков разной конфигурации (неподвижных и поворотных). Подобное сигнальное устройство установили на первой железной дороге общего пользования Стоктон — Дарлингтон в Великобритании в 1827 г. (рис. 1.5). Обращенный к поезду диск разрешал движение, повернутая к поезду горизонтальная доска прямоугольной формы означала сигнал «стой». Интересно, что для лучшей видимости и диск и доска были окрашены в красный цвет.

С ростом скорости возникла необходимость увеличения расстояния, на котором машинист локомотива мог воспринять показание сигнала. В 1841 г. на участке же-

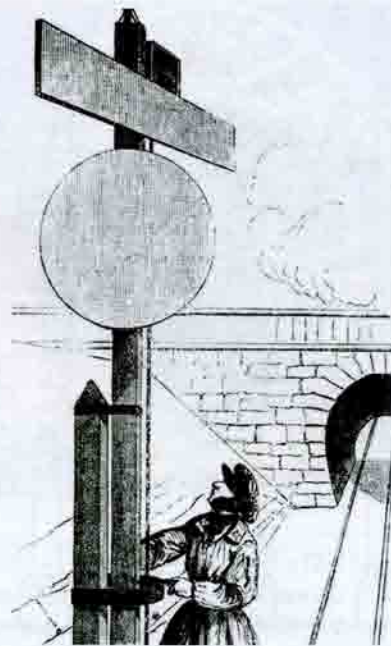


Рис. 1.5. Один из первых постоянных сигналов — диск и горизонтальная доска на поворачивающемся стержне. Великобритания. 1840 г.

лезной дороги Лондон — Крайдон был установлен первый семафор, который передавал три сигнальных показания: «стой», «разрешается движение с осторожностью» и «путь свободен». Днем эти показания подавались, соответственно, положениями крыла: горизонтальным, опущенным вниз под углом 45° по отношению к мачте и вертикальным расположением крыла вдоль мачты. Ночью сигнал подавался керосиновой лампой, цвет огня изменялся светофильтрами, соответственно, красным, зеленым и прозрачным (белым), вставленным во вращающуюся стеклянную рамку. До начала XX в. практически на всех железных дорогах мира зеленый цвет сигнального прибора означал «тише, движение с осторожностью». Использование семафоров, предупредительных дисков и дисков сквозного прохода позволяло обеспечить двух-, трех- и даже четырехзначную сигнализацию, столь необходимую при скоростном движении (рис. 1.6).

Улучшались конструкции паровозов и вагонов, на рубеже XIX—XX вв. были созданы пригодные для коммерческого использования новые средства тяги: с электриче-

¹ Вышедшее сегодня из употребления название, применявшееся еще в начале XX в.

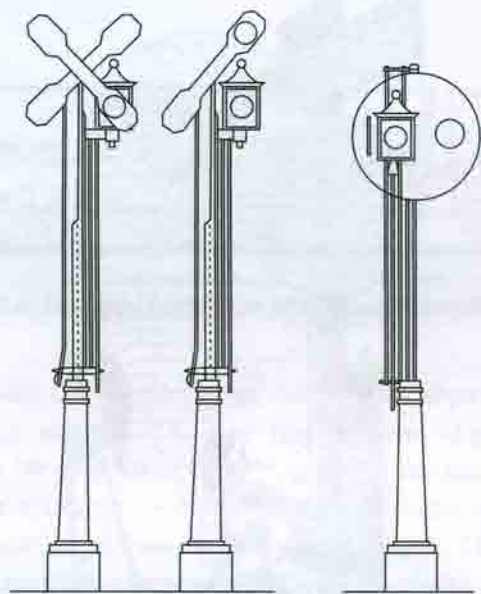


Рис. 1.6. Одна из первых конструкций семафоров и предупредительных дисков. Франция. 1855 г.

ским приводом и с использованием двигателей внутреннего сгорания. В США, Герма-

нии, Великобритании, Франции, Италии вслед за городскими скоростными электрическими железными дорогами (трамваи и метрополитены) началось строительство электрифицированных междугородных линий, предназначенных для скоростных пассажирских перевозок. В 1903 г. в Германии на испытательном железнодорожном полигоне Мариенфельд — Цоссен электровагон, изготовленный компанией «Siemens & Halske» (рис. 1.7) достиг скорости 206,8 км/ч, а электровагон компании AEG установил рекорд 210 км/ч.

В России в начале XX столетия было создано несколько паровозов, которые обслуживали скорые и курьерские поезда. На Сормовском заводе в 1910 г. был построен скоростной паровоз, получивший индекс С, признанный одним из лучших европейских локомотивов своего времени (рис. 1.8). Паровоз использовали для обслуживания экспрессов на направлении Санкт-Петербург — Москва, Санкт-Петербург — Варшава.

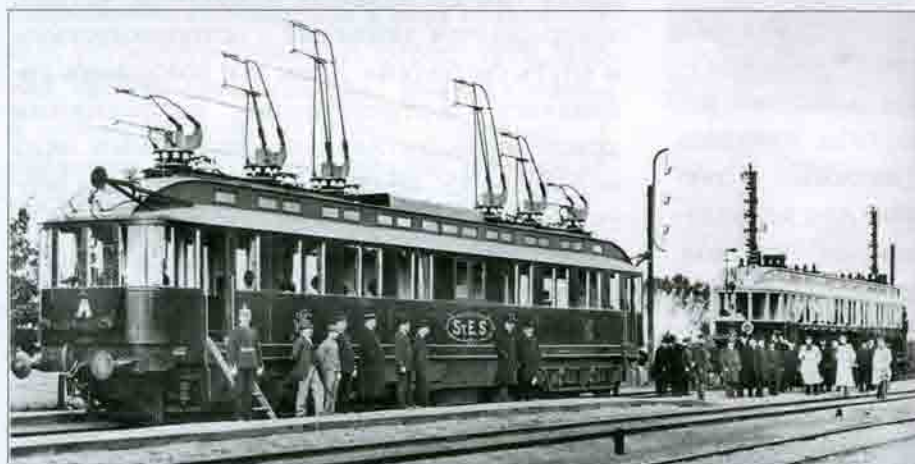


Рис. 1.7. Высокоскоростные электровагоны компаний AEG (слева) и «Siemens & Halske». Германия. 1903 г.



Рис. 1.8. Паровоз типа 1-3-1 серии С первого выпуска на Николаевской железной дороге. 1915 г.

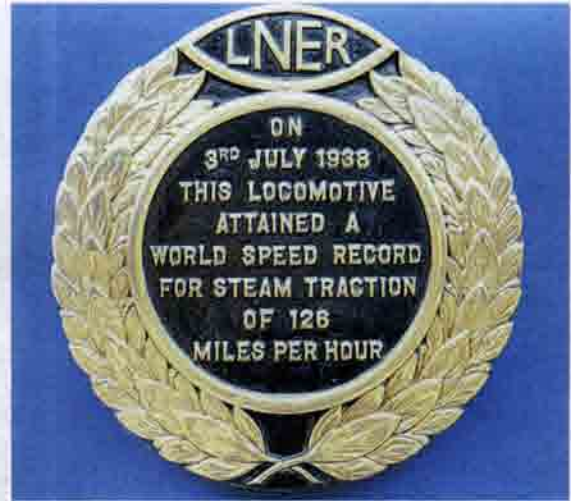


Рис. 1.9. Слева — самый быстрый в мире поезд с паровой тягой — паровоз серии А4 «The Mallard» № 4468, Великобритания. Фото 1986 г. Справа — памятная табличка, установленная на указанном паровозе в честь рекорда. В верхней части таблички название железной дороги: LNER («London and North Eastern Railway» — «Лондон и Северо-Восточная железная дорога»). Надпись на табличке: «3 июля 1938 г. этот локомотив установил мировой рекорд скорости для паровой тяги — 126 миль в час»

В декабре 1913 г. состоялись опытные поездки поезда из девяти четырехосных вагонов с паровозом серии С, названного журналистами «поезд-молния». Во время рейса 6 декабря 1913 г. весь путь от Петербурга до Москвы был пройден за 7 ч 59 мин, максимальная скорость достигала 125 км/ч. Профессор Н.Л. Щукин с начала XX в. вынашивал идею о введении в эксплуатацию между Петербургом и Москвой скоростных поездов, однако начавшаяся война не позволила реализовать эти планы.

На первые десятилетия XX в. приходится апогей использования паровой тяги в высокоскоростном железнодорожном движении. К числу самых известных в мире экспрессов с паровой тягой в 20—30-е годы XX столетия относились американские поезда на линии Нью-Йорк — Чикаго с фирменным названием «Двадцатый век» и поезда «Hiawatha» («Гайавата»), курсировавшие по линии Чикаго — «Города близнецы» (City Twins)¹. В 1938 г. поезда этой линии начали использовать новые мощные скоростные паровозы серии F7 типа 2-3-2, спо-

собные вести состав из 12 вагонов со скоростью до 105 миль в ч.

В Германии в начале 30-х годов XX столетия фирмой «Borsig» был создан скоростной паровоз типа 2-3-2 серии 05, с ведущими колесами диаметром 2300 мм и трехцилиндровой паровой машиной. 11 мая 1936 г. поезд массой 200 т с этим паровозом в поездке из Гамбурга в Берлин развил скорость 200,4 км/ч.

Лучшими британскими скоростными паровозами рассматриваемого периода были машины типа 2-3-2 серии А4. 3 июля 1938 г. паровоз этой серии № 4468 — (рис. 1.9) «The Mallard» (от англ. криквы, дикая утка) с поездом массой 200 т «Летучий Шотландец» достиг наибольшей скорости для паровой тяги 126 миль/ч (202,7 км/ч).

В 30-е годы в СССР также было создано несколько скоростных паровозов. На Коломенском машиностроительном заводе под руководством инженеров Л.С. Лебединского и М.Н. Щукина в 1937 г. изготовлен скоростной паровоз типа 2-3-2 (рис. 1.10), который с составом в 14 осей 29 июня 1938 г. на линии Ленинград — Москва развил скорость 170 км/ч, установив абсолютный ре-

¹ Так в США называют города Сент-Пол и Миннеаполис, расположенные на разных берегах Миссисипи.



Рис. 1.10. Первый из скоростных паровозов типа 2-3-2 Коломенского завода. СССР. 1937 г.



Рис. 1.11. Электропоезд ETR200. Италия. 1939 г.

корд скорости для поездов с паровой тягой для СССР¹.

Постройка скоростных паровозов дала отечественной науке и инженерной практике неоценимый опыт. Великая Отечественная война прервала эти работы, дальнейшее развитие скоростного движения в СССР в послевоенный период осуществлялось уже с применением новых видов тяги: тепловозной и электрической.

Лидером в области развития скоростного движения с использованием электрической тяги в предвоенный период была Италия. 20 июля 1939 г. скоростной электропоезд ETR 200 (рис. 1.11) прошел маршрут

Флоренция — Милан (314 км) за 1 ч 55 мин (маршрутная скорость 164 км/ч) при максимальной скорости 202,8 км/ч. Электропоезд предназначался для работы на линиях, электрифицированных на постоянном токе с напряжением 3 кВ (суммарная длительная мощность тяговых электродвигателей 1100 кВт), состоял из трех вагонов общей массой 110 т.

Одним из самых мощных скоростных пассажирских электровозов, построенных в предвоенный период, был советский опытный локомотив ПБ 21-01 («Имени Политбюро ЦК ВКП(б)»), имевший нагрузку 21 тс на рельсы от одной колесной пары. Во время испытаний 5 января 1935 г. этот электровоз с поездом массой 713 т, состоявшим из 17 четырехосных вагонов, развил скорость 98 км/ч, а во время рейса

¹ В ряде публикаций приводятся сведения о более высокой скорости, достигнутой этим паровозом, здесь публикуются данные наиболее авторитетного историка техники В.А. Ракова.

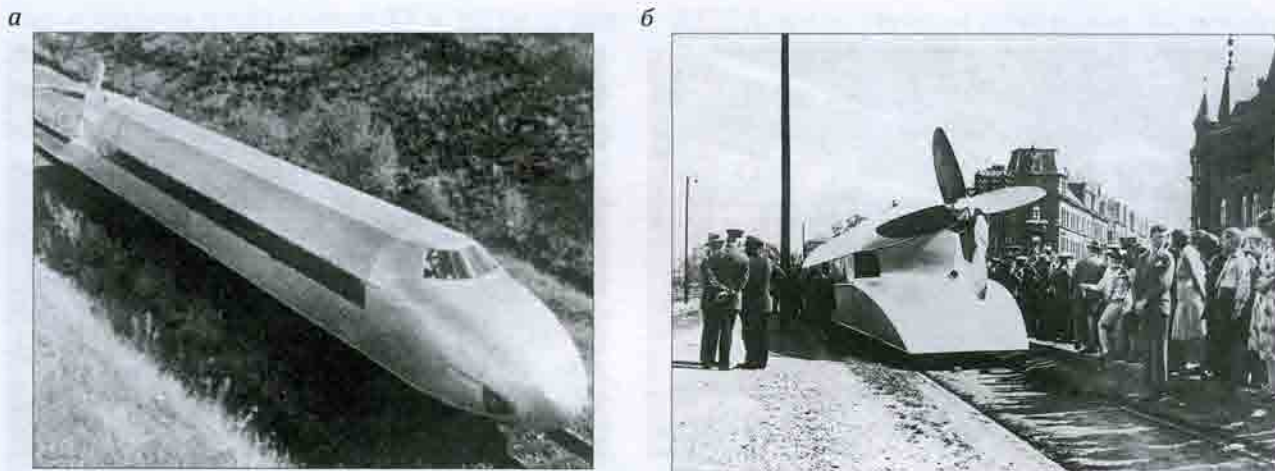


Рис. 1.12. Аэровагон Ф. Крукенберга «Цепелин на рельсах» в движении на пути: а — общий вид; б — вид со стороны воздушного винта. Фото. Германия. 1931 г.

с одним динамометрическим вагоном — 127 км/ч.

В 20—30-е годы XX столетия в мире начинается развитие высокоскоростного железнодорожного движения с использованием двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Однако мощность и скорость первых тепловозов были ниже показателей лучших паровозов. В скоростном движении первоначально пытались применить легкие аэровагоны и аэродрезины. На них в качестве движителей использовались воздушные винты (пропеллеры), непосредственно приводимые в движение ДВС. В 1931 г. аэровагон доктора Ф. Крукенберга (Германия) развил скорость 230 км/ч (рис. 1.12). Но в коммерческой эксплуатации аэровагоны не использовались, поскольку воздушные винты страдают существенным недостатками: имеют малую величину тяги при начале движения, что затрудняет трогание аэровагонов с места (особенно на подъемах) и высокий уровень шума при движении.

Широкое использование ДВС началось после создания работоспособных электрических и гидравлических передач от двигателя к движущим колесам. В 1933 г. в Германии на маршруте Берлин — Гамбург были введены в регулярную эксплуатацию скоростные дизель-поезда SVT 877, развивавшие скорость до 165 км/ч. В движении по расписанию был перекрыт рекорд британского экспресса «Летучий Шотландец»,

что и послужило поводом для присвоения поезду названия «Летучий Гамбуржец». В США одной из первых успешных попыток применения двигателя внутреннего сгорания для скоростного движения стал дизель-поезд «Pioneer Zephyr». Поезд состоял из трех сочлененных вагонов на промежуточных тележках. В начале апреля 1934 г. этот поезд на испытаниях развил скорость 167,3 км/ч. Поезда «Zephyr», а также дизель-поезда М-10000 и др. (рис. 1.13) обеспечивали в США большие объемы скоростных железнодорожных перевозок.

В этот же период скоростные автомотрисы и дизель-поезда широко применялись во Франции. В 1930-е годы на линии «Париж — Лион и Средиземное море» эксплуатировались скоростные автомотрисы «Vigatti» с уникальными четырехосными тележками (две на вагон) с колесами, оснащенными резиновыми вкладышами между центрами и бандажами. Автомотрисы имели салоны 1-го класса вместимостью 48 пассажиров; могли развивать максимальную скорость 170 км/ч, но в силу законодательного ограничения эксплуатировались с максимальной скоростью 120 км/ч.

Одним из важнейших событий в области железнодорожной автоматики и телемеханики в начале XX века стало внедрение в практику надежных устройств в виде рельсовых цепей для объективного контроля положения подвижных единиц (занятости участков пути). На протяжении нескольких

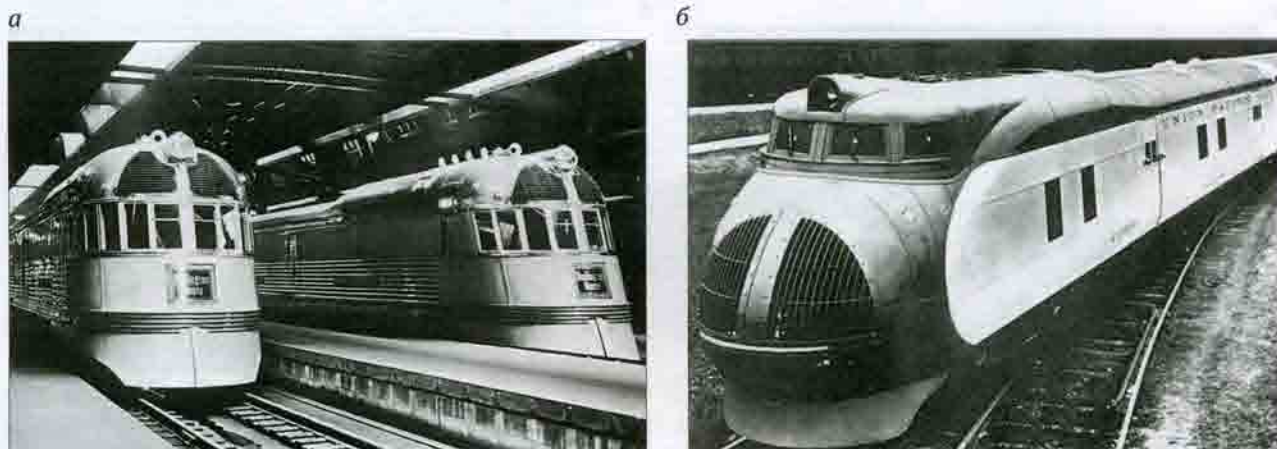


Рис. 1.13. Американские дизель-поезда 30-х годов XX в.: а — «Zephyr» (от греч. «Зефир» — Западный ветер); б — дизель-поезд М-10000

десятилетий разрабатывались разнообразные конструкции рельсовых цепей постоянного и переменного тока разной частоты, создавались многочисленные приборы для обеспечения их работы, прежде чем эти устройства контроля стали неотъемлемыми элементами систем регулирования движения поездов: автоматической блокировки и электрической централизации стрелок и сигналов.

При автоматической блокировке перегон делится на отдельные участки (блок-участки). Это позволяет при достаточной длине перегона находиться на нем несколькими поездам, движущимся в одном направлении, что существенно увеличивает пропускную способность линии. При двухзначной автоматической блокировке машинист получает информацию только о том, свободен или занят один впередилежащий блок-участок. Вступление подвижной единицы на блок-участок (даже одной колесной парой) без вмешательства человека обеспечивается перевод ограждающего сигнального устройства в положение, которое подает сигнал «Стоить». После полного освобождения блок-участка также автоматически и без участия человека подается сигнал «Движение разрешено». К числу первых работоспособных систем для двухпутных железнодорожных линий можно отнести автоблокировку Парижского метрополитена (1900 г.).

К концу 30-х годов XX в. общая длина линий, оборудованных автоблокировкой, в США составляла около 150 тыс. км, из них на протяжении 1700 км была устроена четырехзначная автоблокировка. Активное оборудование автоблокировкой, в основном электрифицированных линий велось в Великобритании. Во Франции в этот период протяженность линий с автоблокировкой была около 6500 км. Однако физическая преграда (препятствие) входу подвижной единицы на занятый участок пути при автоблокировке не создается, то есть фактически, имеет место так называемая «квазиблокировка»¹. Остановка поезда перед закрытым сигналом зависит от машиниста (локомотивной бригады). С появлением пневматических тормозов на железных дорогах были предприняты попытки создания приборов — автостопов, обеспечивающих в случае проезда запрещающего сигнала взаимодействие напольного сигнального устройства и тормозной системы поезда и его автоматическую остановку без вмешательства человека.

В первые десятилетия XX в. с развитием электротехники и оптики, создаются надежные сигнальные приборы круглосуточного действия — светофоры, свободные от недостатков семафоров, имевших механические устройства изменения показания.

¹ Квази... — начальная часть сложных слов, вносящая значения: мнимый, ненастоящий, похожий.

Уже в первом десятилетии XX в. на ряде железных дорог, прежде всего в метрополитенах с интенсивным движением, успешно эксплуатировались точечные системы автостопов механического, электрического, электромагнитного типов. В точечном автостоппе информация на локомотив передается в одной или нескольких точках пути перед напольным сигналом. Благодаря простоте и надежности конструкции механические автостоппы получили распространение, до сих пор используются на линиях многих метрополитенов, в том числе во всех метрополитенах городов бывшего СССР. Были предложены также приборы, обеспечивавшие автоматическое снижение скорости поезда, так называемые «устройства авторегулировки».

К концу 20-х годов XX столетия были созданы работоспособные системы автоматической блокировки с устройствами передачи на локомотив информации о показаниях напольных сигналов — локомотивной сигнализации точечного типа и непрерывного типа, с контролем скорости движения поезда и автостопами. Первоначально эти приборы, в том числе и в СССР, назывались «кэб сигнал» (от англ. cab signal — сигнал, установленный в будке машиниста). Понятие «кэб сигнал» было официально введено в СССР в 1936 г. При непрерывной локомотивной сигнализации информация о показании напольного сигнала, к которому приближается подвижная единица, передается постоянно, устройства локомотивной сигнализации точечного типа обеспечивают передачу информации на локомотив в одной или нескольких точках пути. Развитие таких систем стимулировалось высокоскоростным движением.

Успехи электротехники к концу XIX в. привели к распространению электрической централизации стрелок и сигналов. В этих системах перевод острижков стрелок и установка в нужное положение сигнальных приборов обеспечиваются электрическими приводами. На рубеже XIX—XX вв. приборы и устройства для электрической централизации стрелок и сигналов выпускали десятки компаний разных стран.

В США число стрелок и сигналов, включенных в системы электрической централизации, исчислялось десятками тысяч, в Европе только компания «Siemens & Halske» поставила для включения в электрическую централизацию более 20 тыс. стрелочных электроприводов. Однако вначале и эти системы не включали приборы объективного контроля свободности участков пути, а следовательно, не обеспечивалась должная безопасность. Только создание надежных конструкций рельсовых цепей к 30-м годам XX в. позволило внедрить системы управления движением поездов на станциях в современном понимании.

Таким образом, к 30-м годам сформировались технические устройства, обеспечивающие непосредственное управление заданием маршрута движения поездов без участия промежуточных операторов (агентов) с должным уровнем безопасности, базировавшимся на объективном контроле положения подвижных единиц, а также устройства непосредственной блокировки движения поездов на занятые участки пути (автостоппы), снижающие негативное влияние человеческого фактора. Дальнейшее развитие указанных систем в части повышения их надежности и безопасности осуществлялось путем совершенствования элементарно-технической и технологической базы проектирования и изготовления.

После второй мировой войны примерно к середине 1950-х годов было завершено восстановления разрушенных железных дорог. В ряде передовых в техническом отношении стран стремительно развивались автомобильные и авиационные перевозки, сокращалась эксплуатационная длина железных дорог.

Конкурентоспособность железных дорог во многом определялась скоростью движения и экономичностью перевозок. В высокоскоростном пассажирском движении на железных дорогах Великобритании, Италии, США, Франции, ФРГ паровая тяга интенсивно заменялась электрической и тепловозной, широко использовались скоростные дизель-поезда. Наиболее значительные результаты были достигнуты в

Великобритании, где эксплуатировались самые мощные скоростные тепловозы «Del-tic», а затем дизель-поезда «Intercity 125», развивавшие максимальную скорость 125 миль/ч (201,1 км/ч).

Во второй половине 1950-х годов наибольших успехов в области высокоскоростного железнодорожного движения добились специалисты Франции, где в 1955 г. в опытных поездках была превышена скорость 300 км/ч. Электровозы постоянного тока серии СС 7100 и серии ВВ 9000, каждый с составом из трех вагонов общей массой 111 т, достигли соответственно скорости 331 и 326 км/ч. В 1960-е годы на ряде железных дорог Франции поезда в движении по расписанию развивали скорость около 200 км/ч (рис. 1.14).

В СССР в послевоенный период осуществлялся беспрецедентный Генеральный план технического перевооружения железнодорожной отрасли на основе электрификации. В 60-е годы XX в. результаты, достигнутые в скоростном движении на Октябрьской железной дороге, были сопоставимы с показателями высокоскоростных экспрессов железных дорог Японии, Франции, Италии, США и других ведущих в этой области стран (рис. 1.15). В это время линия Москва — Ленинград по скорости движения пассажирских поездов не уступала лучшим зарубежным магистралям, причем на маршруте длиной 650 км, который в два-три раза превышал большинство зарубежных, за исключением линии в Японии Токио — Осака (рис. 1.16). В мар-



Рис. 1.14. Поезд «Капитоль». Первый в Европе экспресс с максимальной скоростью движения 200 км/ч. Франция. 1967 г.



Рис. 1.15. Отправление из Ленинграда опытного скоростного экспресса № 5/6 Ленинград — Москва 12 июня 1963 г.



Рис. 1.16. Электропоезд серии 0 (ноль) на первой ВСМ Токио — Осака. Япония. 1965 г.

те 1966 г. опытный поезд с электровозом ЧС2^М на линии Ленинград — Москва впервые в истории страны в движении по перегону достиг скорости 200 км/ч.

Подводя итоги развития высокоскоростного железнодорожного движения в мире до создания специализированных высокоскоростных железнодорожных магистралей выделим три этапа. В основание периодизации положены во взаимосвязи два параметра: рекордная скорость движения и максимальная скорость в коммерческой эксплуатации. Первый этап: начало — середина XIX в.: первая волна постройки скоростных (гоночных) паровозов¹. Второй: середина XIX в. — первые десятилетия XX в.: планомерное повышение скорости лучших поездов до 120—150 км/ч, начало конкуренции железных дорог с авиацией и автомобильным транспортом, закат эры паровой тяги после пика достижения скорости 200 км/ч. Третий: 30-е — середина 60-х годов XX столетия²: переход на двигатели внутреннего сгорания и электрическую тягу в высокоскоростном движении, освоение скорости до 200 км/ч в коммерческой эксплуатации. Современный: четвер-

тый этап (начался в середине 1960-х годов) связан с созданием и развитием специализированных ВСМ.

1.2. Классификация железных дорог и максимальная скорость движения поездов

Согласно сложившейся классификации к высокоскоростным железным дорогам относятся линии, на которых осуществляют регулярную и массовую перевозку пассажиров в специализированном подвижном составе со скоростью более 200 км/ч с высоким уровнем безопасности и комфорта. Это обеспечивается принятыми нормами и проектными параметрами, инженерно-техническими решениями, должным строительно-технологическим исполнением и эксплуатацией подвижного состава, стационарных устройств и сооружений, всех систем, а также инфраструктуры. Как правило, скорость движения поездов по ВСМ в повседневной коммерческой эксплуатации составляет 250—300 км/ч. На вновь сооружаемых линиях принимают максимальную расчетную скорость движения 350 км/ч.

Однозначной объективно существующей границы, определяющей зону «высокоско-

¹ В ряде исследований говорится «о первом опьянении человечества скоростью». В рекордных поездках превышена скорость 100 миль в час, интерес к гоночным паровозам ослаб.

² С большим снижением скорости движения в период мировой войны и первого послевоенного десятилетия.

ростного» движения на железнодорожном транспорте, как, например, «звуковой барьер» (330 м/с) в авиации, не существует. Однако предпосылки к определению границы зоны высокоскоростного движения, пусть несколько размытой, имеются. Для традиционной железнодорожной транспортной системы «колесо—рельс» при достижении скорости 250 км/ч и более наблюдается относительно резкое увеличение сопротивления движению подвижного состава и, как следствие, рост энергетических затрат на тягу поезда. Для скорости движения выше 250 км/ч требуется более высокая, чем на обычных линиях, техническая оснащенность стационарных устройств, инфраструктуры и подвижного состава, что приводит к росту капитальных затрат на строительство, увеличению стоимости подвижного состава, к повышению эксплуатационных расходов, что экономически оправдывается при массовых перевозках пассажиров, как правило, на маршрутах протяженностью 400—800 км.

В начале XX в. к категории высокоскоростного движения на железнодорожном транспорте относили движение со скоростью 140—160 км/ч. К концу столетия граница высокоскоростного движения поднялась к значению 200 км/ч. Эта величина, принятая в настоящее время во многих странах, в значительной мере носит конвенционный и исторически сложившийся характер.

В настоящее время в Российской Федерации принята следующая классификация железнодорожных линий в зависимости от скорости движения пассажирских поездов:

- до 160 км/ч — обычные железные дороги;
- от 161 до 200 км/ч — скоростные магистрали;
- более 200 км/ч — высокоскоростные магистрали.

В России под высокоскоростной железнодорожной магистралью (ВСМ или ВСЖМ) понимается специализированная железнодорожная линия, предназначенная для регулярной коммерческой эксплуатации пассажирских поездов с максимальной скоро-

стью движения более 200 км/ч. Определения «скоростной»¹ и «высокоскоростной» пассажирский поезд² даны в «Правилах технической эксплуатации», утвержденных министром транспорта Российской Федерации в 2010 г. с изменениями, внесенными в 2012 г. Определение «высокоскоростной подвижной состав» дано также в «Техническом регламенте о безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта», утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 июня 2010 г. № 533. Понятие «скоростная железнодорожная линия» введено в стандарте СТН Ц-01-95 «Железные дороги колеи 1520 мм».

Градации скорости (категория высокоскоростного железнодорожного движения), принятые в России, несколько отличаются от положений, которых рекомендует придерживаться Международный союз железных дорог (UIC — МСЖД). В официальном докладе МСЖД, опубликованном к VIII всемирному конгрессу по высокоскоростному железнодорожному движению в Филадельфии (США в 2012 г.), отмечено, что к высокоскоростным железным дорогам относятся линии, на которых скорость движения поездов составляет 250 км/ч и более.

Современный этап развития высокоскоростного железнодорожного движения характеризуется тем, что в мировом железнодорожном сообществе произошло дополнение в градациях скорости в высокоскоростном железнодорожном движении. Если до этого практически однозначно определялись понятия «высокоскоростные железные дороги», «высокоскоростные поезда» (в англоязычной литературе «High speed

¹ Определение «Поезд пассажирский скоростной — пассажирский поезд, который по участку (отдельным участкам) следования осуществляет движение со скоростью от 141 до 200 км/ч включительно», которое содержалось в ПТЭ 2010 г. было в 2012 г. заменено следующим: «Поезд пассажирский скоростной — пассажирский поезд, маршрутная скорость движения которого составляет более 91 км/ч».

² Поезд пассажирский высокоскоростной — пассажирский поезд, который по участку (отдельным участкам) следования осуществляет движение со скоростью более 200 км/ч.

railways», «High speed trains»), то теперь все чаще определяется и следующая, более высокая категория скорости «Extreme high speed» или «Very high speed» — «чрезвычайно» или «очень» высокоскоростная железная дорога, поезд.

Соответственно, в зарубежной железнодорожной литературе, в частности, в материалах МСЖД, появилось разделение линий и поездов, предназначенных для высокоскоростного движения на три категории:

- скоростные — высокоскоростные линии — скорость 201—250 км/ч (обычные магистральные железные дороги, прошедшие реконструкцию);
- высокоскоростные — скорость 251—300 км/ч (специально построенные высокоскоростные линии);
- чрезвычайно или очень высокоскоростные — скорость более 300 км/ч (специально построенные *очень высокоскоростные* линии). Будем их называть *сверхскоростные*¹.

Несколько компаний, выпускающих подвижной состав для ВСМ завершили или близки к созданию сверхскоростных поездов: компания «Siemens» (ФРГ) — поезда платформы «Velaro», предназначенные для Испании и КНР с конструкционной скоростью 350 км/ч; компании «Bombardier» (Канада) — поезд платформы «Зефир» с конструкционной со скоростью 350 км/ч; компания «Talgo» (Испания) — поезд «Avril» (380 км/ч) и компания «Hyundai Rotem» (Республика Корея) — поезд HEMU-430 (430 км/ч). Эти поезда позиционируются именно как поезда «очень высокой скорости».

Уже отмечалось, что еще на заре эры железнодорожного транспорта один из его патриархов Джордж Стефенсон — строитель первых железных дорог общего пользования заметил, что «железнодорожный экипаж и рельсы надо рассматривать как единую транспортную машину». Скорость,

как ни какой другой показатель характеризует «единство» этой машины с точки зрения оптимального соответствия друг другу путевой структуры и подвижного состава. Приращение каждого километра максимальной, а еще важнее, средней скорости движения поездов, требовало и требует больших организационно-технических, инженерных усилий и материальных затрат.

При описании и анализе работы современного железнодорожного транспорта используют различные дефиниции скорости: техническая, участковая, маршрутная.

Техническая скорость — средняя скорость движения поездов по участку (км/ч) с учетом дополнительного времени на разгон и замедление. *Участковая скорость* — скорость движения по участку, когда учитываются стоянки на промежуточных станциях. *Маршрутная скорость* — средняя скорость движения поезда на направлении от начального до конечного пунктов его следования с учетом всех стоянок на отдельных пунктах. Другие авторы определяют маршрутную скорость как скорость движения поезда на данном железнодорожном направлении с учетом времени стоянок на всех попутных станциях, разгонов, замедлений и задержек поездов на перегонах; техническую скорость как среднюю скорость движения поезда (или локомотива) по участку без учета времени стоянок поезда на промежуточных, а участковую скорость как среднюю скорость движения поезда по участку с учетом времени стоянок на промежуточных станциях, разгона и замедления и задержек поезда на перегонах.

Важной характеристикой подвижного состава является *конструкционная скорость* локомотива — скорость локомотива, устанавливаемая с учетом допустимого воздействия его на путь, ходовых свойств, безопасности движения (предотвращения схода с рельсов и прочности его деталей). Различные понятия, связанные со скоростью движения, применяют при описании и анализе работы других видов транспорта.

Наряду с перечисленными определениями скорости важно учитывать понятие

¹ Специалистами обсуждается вопрос принятия еще более высокой градации скорости железнодорожного движения: «ультраскоростное» — диапазон 400—500 км/ч.

максимальная технически возможная скорость, которая, по сути, является рекордной скоростью, и под которой понимается наибольшая скорость движения, зафиксированная для данного вида транспорта или конкретного транспортного средства.

Как правило, рекордная скорость фиксируется при проведении специальных испытательных поездок или спортивных рекордных заездов. Для некоторых видов транспорта введены официальные международные и национальные правила фиксирования рекордов скорости. Например, авиационные рекорды фиксируются в соответствии со спортивным кодексом Международной авиационной федерации (Fédération Aéronautique internationale — FAI). Наивысшая скорость движения парусных судов фиксируется с середины XIX в., с 1907 г. — по правилам, разработанным и утвержденным Международным парусным союзом. Для железнодорожного транспорта таких правил никогда не существовало, что порождает проблемы при анализе развития технических средств железных дорог.

1.3. Зарождение и развитие современного высокоскоростного железнодорожного транспорта

В 1964 г. в Японии была введена в эксплуатацию железная дорога Токио — Осака протяженностью 515 км — первая в мире магистраль, предназначенная для регулярного движения с максимальной скоростью более 200 км/ч. Утвердилось понятие «высокоскоростная железнодорожная магистраль»; первоначально в мире широко использовался термин *Синкансэн*¹, в русском языке закрепились аббревиатуры (акронимы) ВСМ или ВСЖМ.

¹ Синкансэн (от японского) — новая большая дорога или новая магистраль.

С созданием первой ВСМ Токио — Осака (см. рис. 1.16) произошла смена исходной концептуальной схемы (парадигмы) системы высокоскоростного железнодорожного транспорта: ВСМ в современном виде, в отличие от большинства железных дорог, это сугубо специализированные пассажирские магистрали для массовых перевозок в строго обозначенных транспортных коридорах. Попытки использования ВСМ для грузовых (почтовых) перевозок пока крайне ограничены, но, по мнению некоторых экспертов — перспективны².

Высокоскоростной железнодорожный транспорт в виде специализированных ВСМ прошел несколько этапов развития. В основу разделения на этапы положена степень распространения нового подвида железных дорог.

Первый этап развития высокоскоростного железнодорожного транспорта пришелся на 60—80-е годы XX столетия, когда были введены в эксплуатацию первые ВСМ в отдельных странах: Японии, затем во Франции и Италии. В этих странах, а также в ФРГ, Великобритании, США, СССР активно проводились научные исследования, шел поиск, отбор правильных решений, проверка их практикой, выбор основных инженерно-технических решений, необходимых для сооружения ВСМ и производства высокоскоростного подвижного состава. Принципиально новым стало строительство специализированных линий исключительно для пассажирских высокоскоростных поездов (рис. 1.17, 1.18).

Второй этап: 90-е годы XX столетия — первое десятилетие XXI в. Массовые пассажирские перевозки по ВСМ показали их весьма высокую надежность, безопасность, экономическую эффективность, экологическую чистоту и привлекательность для пассажиров. Проекты создания ВСМ поддерживаются правительствами многих стран, Европейского сообщества в целом. В Запад-

² Пропуск по ВСМ скоростных грузовых поездов в виде почтовых поездов был реализован только на ВСМ «Юго-Восток» во Франции.



Рис. 1.17. Электропоезд серии TGV PSE на ВМ Париж — Лион. Франция. 1981 г.



Рис. 1.18. Опытный поезд ICE V на высокоскоростной линии Вюрцбург — Ганновер. ФРГ. 1988 г.

ной Европе были введены в эксплуатацию первые международные высокоскоростные поезда на маршрутах Париж — Кельн, Париж — Амстердам; Лондон — Париж и Лондон — Брюссель, для которых использовались участки отдельных высокоскоростных линий (рис. 1.19).

В ситуации нарастающих экологических проблем все более привлекательным стало исключительно малое воздействие ВСМ на окружающую среду, меньшее занятие территории по сравнению с автомобильным транспортом и авиацией. В клуб стран, обладающих высокоскоростными железными дорогами, помимо Японии, Франции и Италии, входят Германия, Бельгия, Испания, Нидерланды, США, Великобритания, Тайвань, Республика Корея (Южная), Швеция, Норвегия, КНР. В 1990-х годах протяженность ВСМ в мире приблизилась к 6 тыс. км. В повседневной коммерческой эксплуатации поезда на ВСМ развивали скорость до 300 км/ч. 3 апреля 2007 г. во Франции

опытный поезд V150 установил рекорд скорости на железнодорожном транспорте 574,8 км/ч, что продемонстрировало скоростные возможности и надежность системы «колесо—рельс» (рис. 1.20, 1.21).

Третий этап: настоящее время развития высокоскоростного железнодорожного транспорта. Строительство ВСМ ведется во многих технически развитых странах мира.

В постоянной коммерческой эксплуатации на ВСМ достигнута максимальная скорость 350 км/ч; по мнению многих специалистов это достижение сохранится на несколько десятилетий. Самые высокие темпы развития высокоскоростных железнодорожных перевозок в последние годы наблюдаются в Испании (рис. 1.22) и Китае (рис. 1.23). Наибольшую протяженность имеют ВСМ КНР — более 9,4 тыс. км, Японии — 2664 км (рис. 1.24), Испании — 2656 км, Франции — 2036 км, Германии — 1334 км, Италии — 923 км (по данным Меж-



Рис. 1.19. Европейские высокоскоростные поезда (слева направо): TGV D, TGV Thalys, ETR500, TGV T. Берлин. 1998 г.



Рис. 1.20. Опытный электропоезд V150 во время рекордной поездки 3 апреля 2007 г. Франция



Рис. 1.21. Скоростная диаграмма рекордной поездки поезда V150 3 апреля 2007 г. В нижней части графика указаны километры линии, на которой проходили испытания (от 140 до 260), выше схематически изображен план: горизонтальными прямыми показаны прямые участки пути, вертикальными — кривые, еще выше (желтая линия) — продольный профиль пути. Поезд в опытной поездке двигался от 250-го км к 140-му км (на графике — справа налево). Набор скорости для выхода на рекордную величину был начат на 220-м км, рекорд скорости 574,8 км/ч был установлен в момент выхода со спуска в районе 193-го км. Внизу на графике — подписи руководителей испытания



Рис. 1.22. Новейший испанский высокоскоростной поезд Talgo «Avril» на выставке железнодорожной техники «Innotrans». Берлин 2012 г.



Рис. 1.23. Высокоскоростной поезд CRH 380 на ВСМ Пекин — Шанхай. КНР. 2012 г.



Рис. 1.24. Высокоскоростной поезд серии E5. Япония. 2012 г.



Рис. 1.25. Сеть высокоскоростных железнодорожных магистралей Европы. 2012 г. и перспектива до 2025 г. (по данным Международного союза железных дорог)

дународного союза железных дорог — МСЖД на 1 апреля 2013 г.). Общая протяженность ВСМ в мире составляет 20,7 тыс. км¹; ожидается, что к 2025 г. длина ВСМ в мире составит более 51 тыс. км, из них в Европе — около 18 тыс. км (рис. 1.25).

1.4. Основные этапы становления и перспективы развития скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта в России

Успехи осуществления комплексного технического перевооружения и обновления железнодорожной отрасли в СССР в 50—70-е годы XX столетия, проводимого на основе Генерального плана электрификации железнодорожного транспорта, позволили приступить к организации в стране высокоскоростного железнодорожного движения.

Первая программа организации высокоскоростного железнодорожного движения в СССР была принята в 1972 г. В качестве начального участка осуществления программы была обозначена линия Ленинград — Москва Октябрьской железной дороги (рис. 1.26). 26 июня 1972 г. состоялся Пленум Научно-технического совета МПС, обсудивший вопрос о подготовке этой линии к обращению пассажирских поездов с максимальной скоростью 200 км/ч.

Еще в конце 1960-х годов в СССР специалисты ВНИИЖТа и других профильных организаций разработали технические требования на подвижной состав, способный развивать скорость до 200 км/ч. Планировалось реализовать два проекта:

- на Калининском вагоностроительном заводе создавался вагон для локомотивной тяги, рассчитанный на эксплуатацию со

скоростью до 200 км/ч с новым электровозом чехословацкого производства²;

- в Риге проектировался и изготовлялся скоростной электропоезд, также с конструкционной скоростью 200 км/ч.

Проект нового вагона с локомотивной тягой РТ200 («Русская тройка») был выполнен Калининским вагоностроительным заводом, который к 1974 г. выпустил состав скоростного поезда из восьми вагонов. В 1975 г. были созданы в Чехословакии два опытных скоростных электровоза ЧС200 №№ 001 и 002 с максимальной скоростью 200 км/ч, испытания которых с вагонами РТ 200 проходили в 1976—1977 гг. на участке Любань — Чудово линии Ленинград — Москва.

Параллельно с созданием скоростного поезда с локомотивной тягой в СССР осуществляли проект скоростного электропоезда постоянного тока. К концу 1974 г. Рижским вагоностроительным заводом были изготовлены 13 вагонов электропоезда ЭР200 (Электропоезд Рижский, конструкционная скорость 200 км/ч) для направления Москва — Ленинград.

В разработке и реализации проекта принимали участие сотни предприятий и организаций страны.

С 1976 г. проводились опытные поездки ЭР200 на Октябрьской железной дороге. Для этого на участке Тосно — Малая Вишера были выполнены работы по обеспечению возможности движения со скоростью 220 км/ч (4 перегона) и 200 км/ч (9 перегонов). 8 июня 1976 г. во время одного из опытных рейсов этот поезд достиг максимальной скорости 220 км/ч.

Вопрос о практическом использовании скоростного электропоезда ЭР200 в регулярной эксплуатации был решен назначенным в 1982 г. министром путей сообщения СССР Н.С. Конаревым. 22 декабря 1983 г. состоялась коллегия МПС СССР, которая рассмотрела весь комплекс проблем, связан-

¹ Данные на 1 апреля 2013 г. // www.uic.org. Имеются различия в определении статуса одних и тех же магистралей, в силу чего в разных источниках данные несколько отличаются.

² Исходя из сложившейся к тому времени международной кооперации социалистических стран пассажирские электровозы для СССР поставляли предприятия Чехословакии.

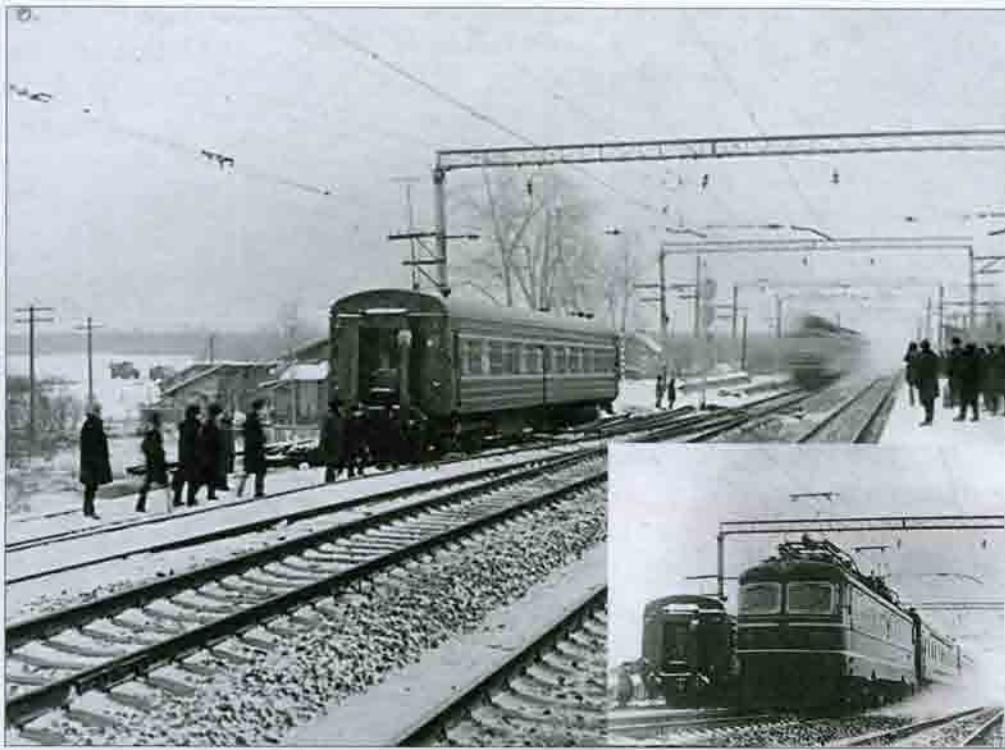


Рис. 1.26. Скоростные испытания линии Ленинград — Москва. 1971 г.

ных с организацией скоростного движения на линии Ленинград — Москва. 1 марта 1984 г. между Ленинградом и Москвой началось регулярное движение скоростного электропоезда ЭР200 (рис. 1.27), который совершал один рейс в неделю, проходя весь маршрут за 4 ч 59 мин. Это был важный рубеж в развитии отечественного железнодорожного транспорта — коммерческое внедрение скоростного железнодорожного движения в СССР.

В 1987 г. по инициативе Министерства путей сообщения Государственный плановый комитет (Госплан СССР), Государственный комитет по науке и технике и Академия наук Советского Союза при участии других заинтересованных министерств и ведомств приступили к разработке концепции создания в стране специализированных железнодорожных магистралей для движения поездов со скоростью 300—350 км/ч. К декабрю 1988 г. проектные и научно-исследовательские институты МПС совместно с другими организациями сформулировали основные положения государственной научно-технической прог-

раммы «Высокоскоростной экологически чистый транспорт», которая была выпущена Государственным Комитетом СССР по науке и технике и утверждена Советом Министров СССР 30 декабря 1988 г. В качестве первого участка намеченной к строительству магистрали «Центр — Юг» (Ленинград — Москва — Крым и Кавказ) определили участок Ленинград — Москва (рис. 1.28).

В 1991 г. для осуществления проекта первой российской ВСМ было создано Российское открытое акционерное общество «Высокоскоростные магистрали» (РОАО «ВСМ»). В 1990—1995 гг. ОАО «Ленгипротранс» при участии других организаций разработало технико-экономическое обоснование (ТЭО) ВСМ Санкт-Петербург — Москва, которое прошло государственные экспертизы. Положительные заключения экспертиз по ТЭО ВСМ Санкт-Петербург — Москва позволили начать подготовку к рабочему проектированию магистрали и проведению работ на местности.

В 1991—2001 гг. РОАО «ВСМ» при участии десятков предприятий и организаций,



Рис. 1.27. Скоростной электропоезд ЭР200 на линии Санкт-Петербург — Москва. Фото 2001 г.

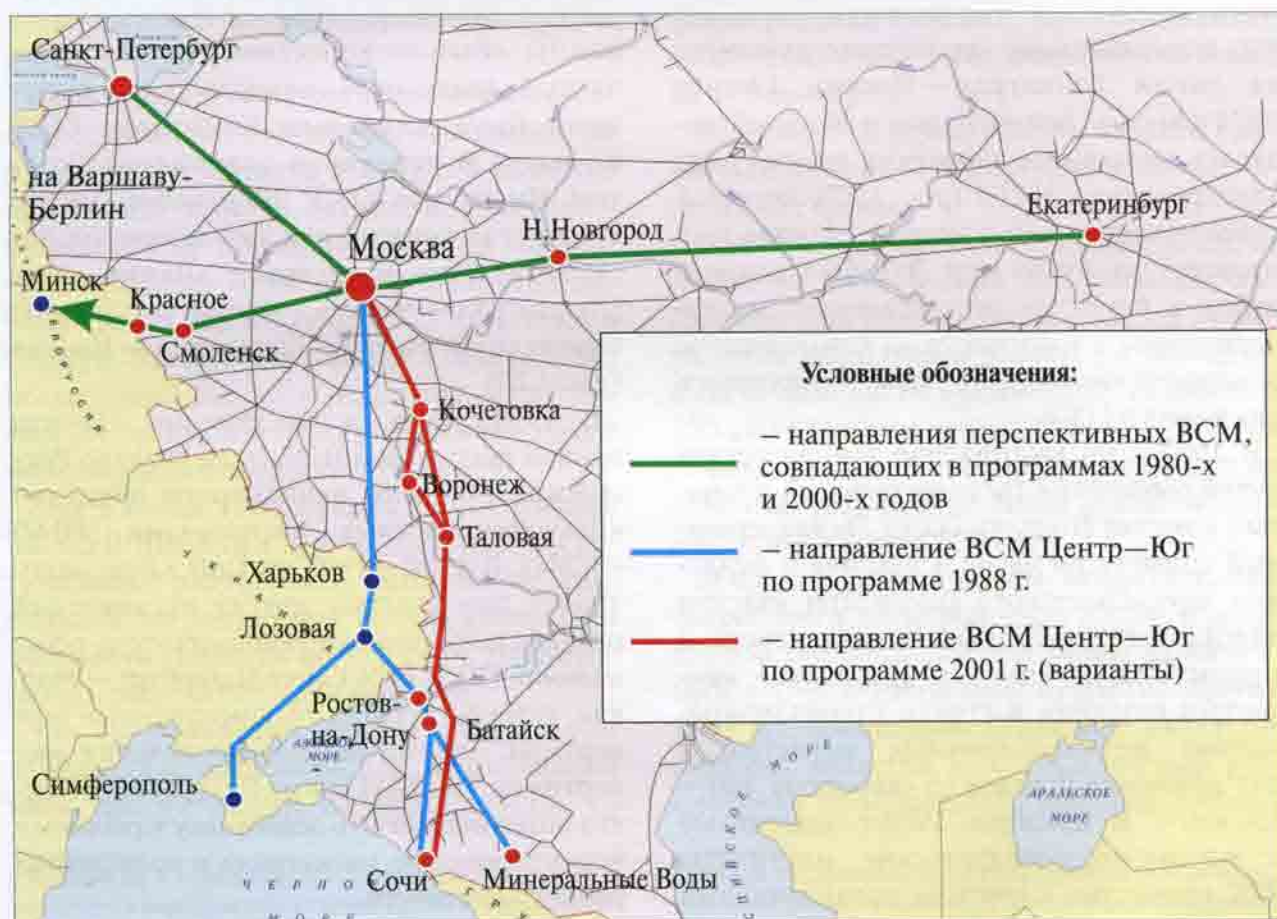


Рис. 1.28. Направления перспективных ВСМ России. 2001 г.

включая ВНИИЖТ, Центральное конструкторской бюро морской техники «Рубин» и другие на Тихвинском заводе «Трансмаш» был изготовлен опытный высокоскоростной поезд «Сокол 250» (рис. 1.29). Испытания проходили на опытном кольце ВНИИЖТ, станция Щербинка Московской железной дороги, на главном ходу Октябрьской железной дороги — линии Санкт-Петербург — Москва. 29 июня 2001 г. поезд «Сокол 250» достиг скорости 236 км/ч.

В процессе испытания электропоезда «Сокол 250» выявился ряд недостатков его конструкции, в частности, тележек. Экономический кризис 90-х — начала 2000-х годов не позволили реализовать в тот период проект ВСМ Санкт-Петербург — Москва и довести до серийного выпуска отечественный высокоскоростной электропоезд. Тем не менее, в стране был приобретен ценный теоретический и практический опыт в области создания систем высокоскоростного железнодорожного транспорта.

В сложившихся экономических условиях в середине первого десятилетия XXI в.

было признано целесообразным поэтапное решение проблемы организации высокоскоростного железнодорожного движения в стране путем реконструкции линии Москва — Санкт-Петербург для движения на ней со скоростью до 250 км/ч высокоскоростного подвижного состава зарубежного производства.

Для поставки был выбран высокоскоростной поезд ICE3 германской компании «Siemens», который в начале 2000-х годов хорошо зарекомендовал себя не только на железных дорогах ФРГ, но заинтересовал транспортников Испании и КНР. В эти страны вскоре были поставлены поезда, созданные на базе ICE3 под названием AVE Class 103 (Velaro E, Испания) и CRH 3 (Velaro CN, КНР). В КНР развернулось также собственное производство высокоскоростных поездов CRH 3.

Реализация проекта поставки поездов ICE3 для железных дорог Российской Федерации началась в 2005 г. Модификация поездов для России была обозначена «Velaro Rus», позже поезду было дано на-



Рис. 1.29. Испытания высокоскоростного электропоезда «Сокол 250». Зима 2000/2001 г.

звание «Сапсан» — в честь самой быстрой в полете птицы из семейства соколиных. Было определено, что вагоны поездов «Velaro Rus», исходя из принятого в России габарита подвижного состава, на 330 мм шире чем ICE3. Поезд для железных дорог России состоит из 10 вагонов (ICE3 — 8 вагонов), при длине всего состава 250 м и рассчитан на 600 пассажиров. Конструкционная скорость поезда «Сапсан» 250 км/ч (рис. 1.30). Возможна модернизация для увеличения максимальной скорости до 350 км/ч.

В 2009 г. в Россию поступили первые поезда, модифицированные для эксплуатации на железных дорогах страны. Испытания проходили на экспериментальном кольце ВНИИЖТ, станция Щербинка под Москвой и на скоростном полигоне Белореченская — Майкоп Северо-Кавказской железной дороги, а также в движении между Москвой и Санкт-Петербургом. 7 мая 2009 г. на этой линии поезд развил скорость 290 км/ч, установив рекорд для отечественных железных дорог.

Коммерческая эксплуатация высокоскоростных электропоездов «Сапсан» на линии Москва — Санкт-Петербург началась 17 декабря 2009 г., с 30 июля 2010 г. — на участке Москва — Нижний Новгород. В эксплуатацию включено восемь электропоездов.

Из Санкт-Петербурга начинается маршрут первого в истории Российской Федера-

ции высокоскоростного поезда, соединившего между собой два государства — Россию и Финляндию, города Санкт-Петербург и Хельсинки. В эксплуатации находятся поезда «Аллегро» (Sm6), предназначенные для использования на линиях, электрифицированных на постоянном и переменном токе, модифицированные для железных дорог России и Финляндии на базе поездов типа «Pendolino» компании Alstom, вагоны которых имеют устройства для наклона кузова (рис. 1.31). Использование поездов с такими вагонами позволило на модернизированной существующей линии Санкт-Петербург — Хельсинки поднять скорость до 220 км/ч. и сократить время в пути между Санкт-Петербургом и Хельсинки — до 3 ч 30 мин почти в 2 раза.

В настоящее время в Российской Федерации ведется подготовка к созданию сети высокоскоростных магистралей, предназначенной для решения важной внутренней геополитической задачи — укрепления связей между территориями Российской Федерации. Реализация такого проекта национального масштаба повлечет за собой подъем как железнодорожной отрасли в целом, так и развитие многих отраслей экономики, послужит стимулом общеэкономического укрепления страны, повышения платежеспособного спроса и улучшит мобильность населения.

Развитие высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации является одним из ключевых направлений транспортной политики, официально закрепленной в Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г. Указом Президента Российской Федерации от 16 марта 2010 г. № 321 «О мерах по организации движения высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации». ОАО «Российские железные дороги» определено единственным исполнителем по осуществлению функций заказчика при проектировании инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта.



Рис. 1.30. Поезд «Сапсан». 2010 г.



Рис. 1.31. Поезд «Аллегро». 2011 г.

При разработке Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г. был уточнен ряд параметров Программы развития скоростного движения до 2020 г. (принята в 2006 г.), с учетом произошедших изменений в пассажиропотоках и социально-экономической ситуации в стране в целом и в ее отдельных регионах. В результате, намеченная протяженность общего полигона скоростного пассажирского сообщения (со скоростью до 160 км/ч и выше) на период до 2030 г. была увеличена почти до 11 тыс. км. Планируется также создание высокоскоростного железнодорожного пассажирского транспорта (со скоростями до 350—400 км/ч), полигон которого к 2030 г. при реализации максимального варианта Стратегии должен превысить 1,5 тыс. км (рис. 1.32).

В 2010 г. в соответствии с поручениями Правительства Российской Федерации была разработана «Модель и концепция развития скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации», одобренная 29 ноября 2011 г. Советом директоров ОАО «РЖД», которая включает:

1. Организацию высокоскоростного движения по специализированным магистралям со скоростью движения поездов до 300—400 км/ч высокоскоростным подвижным составом.

2. Организацию скоростного железнодорожного движения на существующих путях между крупными региональными центрами с максимальной скоростью 160—200 км/ч скоростным подвижным составом.

Для реализации проектов в области высокоскоростного железнодорожного транспорта создано дочернее предприятие ОАО «РЖД» — ОАО «Скоростные магистрали». В качестве первоочередных проектов в области высокоскоростного железнодорожного движения в стране намечены направления Москва — Нижний Новгород — Казань и Москва — Санкт-Петербург. Наиболее подготовленным является обоснование инвестиций ВСМ, которая соединит Москву с Санкт-Петербургом. В качестве базового варианта рассматривается утвержденный научно-техническим советом ОАО «РЖД» «Западный» вариант трассы этой ВСМ (рис. 1.33). Ведется работа по обоснованию инвестиций ВСМ на направлениях



Рис. 1.32. Перспективный полигон скоростного и высокоскоростного пассажирского движения в Российской Федерации. 2013 г.

Москва — Казань — Екатеринбург и Москва — Адлер.

Для реализации проектов может быть использован Контракт жизненного цикла (КЖЦ), который заключается на весь комплекс работ, связанных с проектированием, строительством, финансированием и содержанием объекта. Схема контракта жизненного цикла предполагает двух основных участников: Государство (Концедент/Заказчик) и Специальная проектная компания (СПК) — (Концессионер/Подрядчик).

СПК (Концессионер) — консорциум компаний, обладающих опытом проектирования, строительства и эксплуатации, а также привлечения финансирования для реализации проектов высокоскоростных магистралей на принципах КЖЦ, который выбирается на основе концессионного конкурса и подписывает концессионное соглашение.

В рамках Проекта обязанность Специальной проектной компании — создать объект железнодорожной инфраструктуры, для чего необходимо привлечь собствен-



Рис. 1.33. Принятый «Западный» вариант трассы ВСМ Москва — Санкт-Петербург. 2011 г.

ное и заемное финансирование, запроектировать и построить объект с заданными технико-экономическими параметрами и предоставить государству сервис работающей дороги на срок действия соглашения

КЖЦ. Финансирование проекта со стороны государства предполагает выделение капитального гранта на этапе строительства, предоставление гарантий и оплату сервисных платежей в процессе эксплуатации.

Глава 2

Монорельсовый скоростной и высокоскоростной транспорт

2.1. Первоначальный этап развития монорельсовых транспортных систем в XIX — начале XX столетия

Анализ состояния и перспектив развития высокоскоростных железных дорог нельзя проводить вне сравнения с другими видами высокоскоростного сухопутного транспорта. Несмотря на то, что ни один из многочисленных проектов междугородных нетрадиционных высокоскоростных транспортных систем, предложенных на протяжении XIX—XX столетий, реализован не был, в последние десятилетия изобретатели, различные компании продолжают разработки все новых и новых проектных предложений. Особенно часто появляются сообщения о перспективах использования систем с магнитным подвешиванием экипажей.

Под нетрадиционными высокоскоростными сухопутными транспортными системами понимаются такие, в которых в качестве путевых опорных и направляющих структур используют не два железнодорожных рельса, укрепленных на шпальной решетке или плитном основании, а иную конструкцию — в виде монорельса, каната (троса, «струны») или трубы. На подвижных единицах для опоры и задания направления движения вместо традиционных железнодорожных колес с гребнями

применяют металлические или пневматические колеса с резиновыми шинами; устройства, создающие воздушную подушку (смазку), или магнитное подвешивание. Для движения экипажей используют различные источники энергии. В случае опоры подвижной единицы на воздушную подушку или применения магнитного подвешивания, когда отсутствует непосредственный механический контакт между подвижным составом и неподвижной путевой структурой, в качестве движителя может применяться воздушный винт, реактивная струя газов, линейный электродвигатель.

Монорельсовые транспортные системы с подвижным составом на колесном ходу появились практически одновременно со строительством первых железных дорог. Уже в 1825 г. (год открытия в Англии первой железной дороги общего пользования Стоктон — Дарлингтон) английский инженер Г.Р. Пальмер (Palmer) построил монорельсовую подвесную дорогу, по которой осуществлялись грузовые и пассажирские перевозки (рис. 2.1). Дорога предназначалась для перевозки рыбы из Брайтона в Лондон. При попутном ветре, который, преимущественно, дует с моря, груженные вагоны двигались под парусами. В штиль и при встречном ветре для передвижения использовалась конная тяга. В последующие десятилетия были предложены десятки, если не сотни конструкций таких транспортных систем, которые сегодня от-

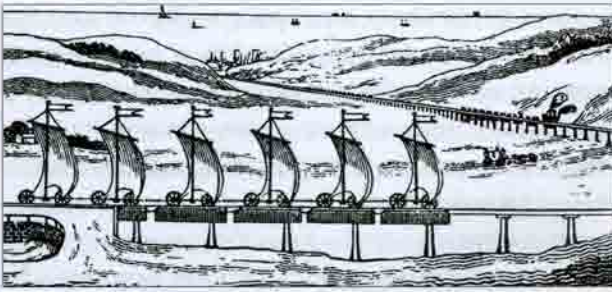


Рис. 2.1. Монорельсовая дорога Г. Пальмера. Великобритания. 1825 г.

носят к категории «нетрадиционных». Идеи монорельсового транспорта были использованы в многочисленных проектах скоростных пассажирских линий. Основопологающим условием безопасности авторы этих технических предложений считали необходимость обеспечения свободного движения скоростных экипажей без пересечения в одном уровне с любыми другими путями сообщений. Предлагалось поднимать скоростные дороги на высокую насыпь или эстакаду, устраивать путепроводы и мосты. При этом изобретатели справедливо отмечали недостаток громоздкой рельсо-шпальной путевой структуры обычной железной дороги, в случае необходимости ее подъема над землей. Вариант монорельсовой конструкции на эстакаде представлялся конструктивно целесообразнее и дешевле.

Некоторые из этих проектов были близки к реализации. Так, проект монорельсовой линии Манчестер — Ливерпуль протяженностью 56 км, рассчитанной на движение поездов со скоростью до 120 миль/ч (193 км/ч) английского инженера Г. Бэра в сентябре 1901 г. одобрил Парламент страны, был собран необходимый начальный капитал, однако к строительству не приступили. Позже в Великобритании начали сооружение монорельсовой скоростной дороги (рис. 2.2) по проекту шотландского инженера Георга Бенни (Bennie), но строительство не завершили. В настоящее время старейшей из эксплуатируемых монорельсовых дорог является пассажирская транспортная система в городе Вуппертале (Германия) открытая в 1901 г.



Рис. 2.2. Монорельсовая транспортная система Г. Бенни «Railplane» (от англ. «Рельсовый самолет»). Великобритания. 1929 г.

Русский инженер И.В. Романов разработал в 1897 г. проект подвесной электрической монорельсовой дороги для движения поездов со скоростью до 200 верст в час. Опытный участок был построен в пригороде Петербурга, но проект скоростной дороги между двумя столицами осуществлен не был. В 1903 г. в России по инициативе государственного деятеля и изобретателя П.П. Шиловского, с участием видных российских ученых и инженеров Р.Н. Вульфа, А.М. Годыцкого-Цвирко, В.Н. Евреинова и Р.А. Лютера был разработан проект гироскопической дороги, поезда которой должны были развивать скорость 200 верст в час. Гироскопическая транспортная система имела один ходовой рельс, а для удержания подвижного состава в равновесии на каждом локомотиве или вагоне предполагалось устанавливать массивный вращающийся маховик-гироскоп (гироскоп (от др.-греч. γῦρος «круг» и σκοπέω «смотреть»), — устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации связанного с ним тела относительно инерциальной системы координат). Эта техническая идея (патент 1903 г.) была предложена изобретателем ирландского происхождения (жил и работал в Австралии и Великобритании) Луи Бреннаном (Brennan), который реализовал проект в виде опытного участка дороги в местечке Гиллингхэм (Gillingham), в графстве Кент, Англия в 1909 г. (рис. 2.3).

Проект гироскопической монорельсовой дороги П.П. Шиловский вместе с группой

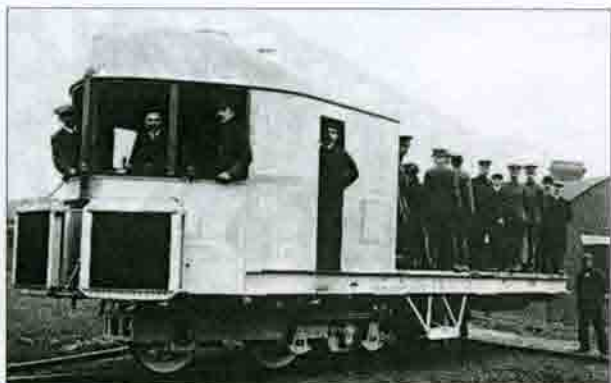


Рис. 2.3. Опытный вагон Л. Бреннана. Великобритания. 1909 г.

ученых, конструкторов и проектировщиков разрабатывал на протяжении нескольких лет. Можно только удивляться настойчивости и организаторским способностям автора проекта, который в 1919 г., в условиях гражданской войны, сумел организовать с помощью военного ведомства, строительство 12 км однорельсового пути между Петроградом и Гатчиной, а также разместил на заводах Петрограда заказы на подвижной состав. Военные министерства многих стран в тот период проявляли большой интерес к конструкциям легких железных дорог, в частности узкоколейных

и монорельсовых, которые можно было бы быстро собирать и разбирать в полевых условиях из типовых элементов, создавая в прифронтовой полосе временные пути для подвоза людей, вооружения, провианта и т.п. Однако вскоре автомобильный транспорт вытеснил эти идеи. Ухудшение экономического положения в стране остановило в мае 1922 г. реализацию проекта Шиловского; впоследствии к идее уже не возвращались.

В начале 30-х годов XX столетия советским инженером Н.Г.Ярмольчуком была предложена «шароэлектрорельсовая система сверхскоростного транспорта». В системе использовался монорельс, который представлял собой лоток (желоб) из дерева, металла или железобетона. Поезд состоял из двухосных вагонов с кузовами цилиндрической формы, изготовленных из легких металлов. Вагоны двигались по лотковому пути на шарообразных обрешиненных мотор-колесах — «шароидах», внутри которых находился привод — электродвигатели и редукторы. Для испытаний шаропоезда под Москвой был построен экспериментальный участок длиной 3 км — «шародром» и изготовлена модель



Рис. 2.4. Высокоскоростная шароэлектрорельсовая транспортная система Н.Г.Ярмольчука. Поезд на пути «шародрома» вблизи Москвы СССР. 1933 г.

поезда в $1/5$ проектной величины; поезд разгонялся до 70 км/ч (рис. 2.4).

В те же годы в Советском Союзе проходили испытания еще одной монорельсовой дороги. Изобретатель С.С. Вальднер предложил в конструкции монорельсовой дороги поместить один несущий рельс на верхней части эстакады и два направляющих внизу под эстакадой на боковых продольных балках (рис. 2.5). В качестве тяговых средств использовались авиационные двигатели с воздушными винтами. В октябре 1933 г. в Москве в Центральном парке культуры и отдыха им. М. Горького на кольцевом монорельсовом пути была испытана модель аэропоезда в $1/10$ проектной величины с электродвигателями, которая развивала скорость до 120 км/ч.

К концу 1930-х годов работы по реализации обоих проектов нетрадиционных высокоскоростных дорог в СССР были прекращены в силу отсутствия каких-либо практических результатов. Аналогичное положение наблюдалось и в других странах. К началу Второй мировой войны, несмотря на множество технических и коммерческих предложений, ни один из проектов сооружения междугородных скоростных монорельсовых дорог реализован не был.

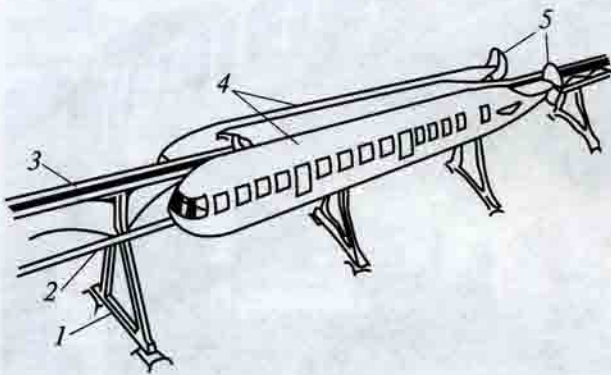


Рис. 2.5. Аэропоезд (аэровозгон) С.С. Вальднера: 1 — опора монорельса; 2 — направляющая балка; 3 — монорельс; 4 — симметричные кузова (фюзеляжи) вагона; 5 — толкающие воздушные винты авиационных двигателей. СССР. 1933 г.

2.2. Развитие конструкций монорельсовых транспортных систем во второй половине XX столетия

Новая волна интереса к высокоскоростному монорельсовому транспорту возникла в 50—60-е годы XX в. в условиях сокращения протяженности железных дорог в ряде технически развитых стран мира. В США, Великобритании, Франции, Германии и др. странах уменьшались пассажирские перевозки по железным дорогам, все больший пассажиропоток принимали на себя авиационный и автомобильный транспорт. Некоторые специалисты в области транспорта считали, что традиционные железные дороги исчерпали свои возможности в области повышения скорости при соблюдении необходимых норм безопасности и предполагали, что будущее за монорельсовыми транспортными системами.

Ряд монорельсовых систем был реализован в виде опытных участков, которые несколько лет находились в опытной эксплуатации (рис. 2.6). В некоторых странах — Японии, США, Австралии (рис. 2.7), Сингапуре и др. были построены небольшие по протяженности городские монорельсовые дороги. Ни один из проектов междугородных скоростных монорельсовых магистралей осуществлен не был.

К настоящему времени монорельсовые транспортные системы с металлическими обрешеченными колесами, а также с автомобильными шинами, получили ограниченное распространение в качестве городского внеуличного транспорта. Они часто устраиваются на выставках, ярмарках, в городках аттракционов, в парках отдыха и зоопарках. Всего в мире к концу первого десятилетия XXI в. эксплуатировалось около 60 монорельсовых пассажирских дорог общего пользования. Из них около 10 — подвесного типа, 30 — навесного, остальные — различных лотковых конструкций и одна — на магнитном подвешивании экипажей (Шанхай, КНР). Более половины дорог имеет подвижной состав малой емкости.

а



б



Рис. 2.6. Монорельсовые дороги: а — Alweg на опытном полигоне. Германия. 50-е годы XX века; б — Skyway на опытном полигоне. США. 50-е годы XX в.



Рис. 2.7. Монорельсовая дорога в Сиднее, Австралия. 1993 г.



Рис. 2.8. Поезд Московской монорельсовой транспортной системы. 2007 г.

мости (до 10 пассажиров в вагоне, в поезде до шести вагонов); около 10 дорог имеют подвижной состав «большой» вместимости (до 100—150 пассажиров); остальные могут быть отнесены к дорогам средней вместимости. В 2004 г. открыта монорельсовая колесная дорога в Москве — первая пассажирская линия подобного типа на территории Российской Федерации (рис. 2.8), протяженностью 4,7 км. Дорога имеет железобетонный монорельс, поднятый на эстакаду. Эксплуатируются вагоны сочлененного типа на промежуточных тележках с пневматическими шинами, общая вместимость поезда из 6 вагонов — 200 пассажиров, максимальная скорость — 70 км/ч. В качестве тягового привода используется линейный электродвигатель.

Ряд ученых и изобретателей в 50—60-е годы XX в. пришли к выводу, что скорость движения по существующим железнодорожным путям и предложенным монорельсовым дорогам ограничивается традиционной системой «колесо—рельс» («колесо—монорельс») с использованием металлических, обрешиненных или пневматических колес, исчерпавшими свой потенциал. Предлагалось опору колеса на рельс заменить воздушной подушкой (смазкой) или ис-

пользовать магнитное подвешивание (подвес), исключая непосредственный механический контакт между подвижным составом и путевой структурой.

В ряде стран (США, Великобритания, Франция, Япония, СССР и др.) развернулись работы по созданию систем на воздушной подушке для различных видов транспорта, включая водный (суда на воздушной подушке), сухопутный (автомобили-амфибии, способные передвигаться и по твердой поверхности, и по воде), а также поездов (вагонов),двигающихся по монорельсу с использованием воздушной подушки (смазки).

Одним из первых проект поезда с воздушной опорой выдвинул К.Э. Циолковский. К 70-м годам XX столетия значительных успехов в области подобных транспортных систем добились во Франции. В опытной эксплуатации инженер Ж. Бертен (Bertin), реализовал идею поезда на воздушной подушке. Аэровагон двигался по железобетонному монорельсу в виде перевернутой буквы Т. В пространство между монорельсом и днищем вагона вентиляторы накачивали воздух, который приподнимал вагон на 70—100 мм (рис. 2.9). 5 марта 1974 г. аэропоезд L'Aerotrain I 80 HV, ос-



Рис. 2.9. Аэровагон L'Aerotrain 180 HV на опытной дороге вблизи Бордо. Франция. 70-е годы XX в.

нащенный маршевым турбореактивным двигателем SE 210 от самолета Caravelle, установил на трехкилометровом участке рекорд скорости для сухопутного транспорта 417,6 км/ч.

При весьма впечатляющих результатах в опытных и рекордных поездках транспортные монорельсовые системы на воздушной подушке оказались непригодными к практической коммерческой эксплуатации. В технико-экономическом сравнении они проигрывали высокоскоростным железным дорогам, например TGV во Франции. Кроме того, пороком транспорта на воздушной подушке является большой шум, исключить который невозможно. По имеющимся сведениям в настоящее время работы в области создания монорельсовых высокоскоростных транспортных систем на воздушной подушке нигде не проводятся.

2.3. Монорельсовые транспортные системы с экипажами на магнитном подвешивании¹

Во второй половине XX столетия научные исследования и инженерные разработки в области транспортных систем на магнит-

ном подвешивании проводились во многих странах — Великобритании, Германии, СССР, США, Франции, Японии и др. В последние десятилетия — в Республике Корея (Южная Корея) и КНР. Для обозначения транспорта с магнитным подвешиванием подвижного состава иногда используют сокращение по первым буквам слов — акроним ТМП, а также термины: магнитолевитирующий или маглев-транспорт (магнит и левитация от лат. *levis* — легкий), сокращение Maglev получило распространение в иностранной литературе.

Идея магнитного подвешивания подвижных объектов была выдвинута в начале XX в. Одним из первых ее предложил в России в 1914 г. профессор Б.Л. Вейнберг. В его проекте «соленоидной дороги» в трубе из немагнитного материала с помощью движущегося магнитного поля последовательно включаемых соленоидов, должен был перемещаться вагон. Первую действующую модель вагона с магнитным подвешиванием создал американский изобретатель французского происхождения Эмиль Башле (Bachelet). В 1912 г. он продемонстрировал модель, которая представляла собой толстую алюминиевую плиту, в ней под воздействием переменного магнитного поля, возбуждаемого электрическими катушками, наводились вихревые токи; возникала сила отталкивания, которая и

¹ Используется также словосочетание «магнитный подвес».

приподнимала плиту. Система была названа «железная дорога Фуко». Начиная с 20-х годов прошлого столетия значительные эксперименты в области магнитной транспортной левитации проводились в Германии под руководством инженера Г. Кемпера (Kemper).

К настоящему времени наибольших успехов в этой области добились ученые и инженеры Германии, Японии и Республики Корея (Южная Корея), где созданы опытные полигоны для экспериментов по реализации проектов ТМП. Используются разные типы магнитного подвешивания: электромагнитное (ЭМП), электродинамическое (ЭДП) и с постоянными магнитами.

Электромагнитное подвешивание осуществляется с помощью электромагнитов постоянного тока; подъем вагонов обеспечивается силами притяжения электромагнитов к неподвижному ферромагнитному рельсу путевой структуры. При этом достигается сравнительно небольшая высота подвешивания (8—15 мм), что предъявляет жесткие требования к точности изготовления и монтажу элементов путевого полотна.

Электродинамическое подвешивание основано на действии сил отталкивания, возникающих между магнитным полем размещенных на подвижном составе сверхпроводящих электромагнитов постоянного тока и индуцированных ими токами в путевом немагнитном полотне сплошного или дискретного (прерывистого) типа. Электродинамическое подвешивание позволяет получить высоту подъема подвижного состава на порядок большую: 100—200 мм.

Постоянные магниты используются для создания взаимного отталкивания (притяжения) магнитов, размещаемых в виде полос на путевом полотне и на подвижных единицах. Недостатком этого способа является еще меньшее расстояние между экипажем и путевым полотном, чем при электромагнитном способе и неустойчивость подвижного состава.

Во всех случаях исключается непосредственный механический контакт между подвижным составом и путевым полотном до-

роги. Для движения поездов с вагонами на магнитном подвешивании применяются линейные асинхронные или синхронные двигатели различных модификаций.

Первые пригодные для практического применения разработки высокоскоростных маглев-поездов и путевых структур для них были созданы в конце 80-х годов XX столетия в Германии после многолетних научных исследований и инженерных разработок, в которых участвовали ведущие научные учреждения страны, а также машиностроительные, электротехнические и другие компании, в частности, Krauss-Maffei, MBB (Messerschmitt—Bolkow—Blohm), Siemens, Thyssen-Henschel.

15 декабря 1989 г. поезд «Transrapid 07» с пассажирами на борту достиг на опытном полигоне в Эмсланде скорости 436 км/ч, установив мировой рекорд для экипажей на магнитном подвешивании. Для его движения была сооружена специальная путевая структура в виде А-образных железобетонных опор, железобетонных и металлических ферм-монорельсов (рис. 2.10). На всем протяжении пути в монорельс заделана обмотка развернутого статора линейного асинхронного двигателя. В местах разветвления путей устроены стрелочные переводы — очень большие по размерам сооружения, напоминающие разводные пролеты мостов (рис. 2.11).

В 60-е годы XX столетия работы по созданию высокоскоростных магнитолевитирующих транспортных систем начались в Японии. Исследования и опытно-конструкторские разработки проводились при участии многих ведущих научно-исследовательских, транспортных и промышленных компаний. Были построены несколько действующих опытных установок систем с магнитолевитирующими подвижными единицами (рис. 2.12).

Значительные успехи в этой области были достигнуты Японским научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта. В декабре 1979 г. опытный вагон ML 500 на специальном полигоне длиной 7 км развил рекордную скорость 517 км/ч.



Рис. 2.10. Маглев-поезд на полигоне в Эмсланде. Германия. 1989 г.



Рис. 2.11. Стрелочный перевод системы «Transrapid» на полигоне в Эмсланде. Германия. 1989 г.



Рис. 2.12. Маглев-вагон ML100. Япония. 70-е годы XX в.

Для испытаний создаваемой техники на магнитном подвешивании в 1996 г. был введен в эксплуатацию первый участок опытного полигона «Яманаси» протяженностью 18,4 км (общая проектная длина полигона 42 км), на котором испытываются опытные поезда (рис. 2.13). Помимо монорельсовой линии этот испытательный комплекс

имеет центр управления, депо для поездов, тяговую подстанцию с преобразовательным оборудованием, лабораторный корпус и мастерские.

В апреле 1999 г. на этом полигоне японский опытный поезд MLX 01 с пассажирами достиг скорости 552 км/ч; 2 декабря 2003 г. был установлен новый рекорд: 581 км/ч.



Рис. 2.13. Опытный поезд MLX на полигоне Яманаси. Япония. 2003 г.

Этот результат остается до сегодняшнего дня наилучшим для транспортных средств на магнитном подвешивании.

Первая в мире коммерческая линия длиной 620 м для экипажей на магнитном подвешивании была введена в эксплуатацию в Великобритании в 1984 г. Она связывала аэропорт Бирмингема с железнодорожной станцией. В 1995 г. линия была закрыта в связи с высокими эксплуатационными расходами и вместо нее в 2003 г. построили железную дорогу. В конце 80-х годов прошлого века линия для транспортных средств на магнитном подвешивании с постоянными магнитами длиной 1,6 км была построена в Западном Берлине, но в 1992 г. она была демонтирована.

В конце XX столетия вопрос о сооружении междугородных магистралей для движения высокоскоростных экипажей на магнитном подвешивании поднимался в ряде стран: в США, Нидерландах, Японии и др. В Германии рассматривался проект строительства первой высокоскоростной маги-

страли с магнитным подвешиванием системы «Transrapid» между Берлином и Гамбургом протяженностью 285 км, однако реализация этого проекта, как и проектов всех других междугородных маглев-линий, не состоялась.

Единственным осуществленным проектом в настоящее время является городская 30-км линия для поездов на магнитном подвешивании, соединившая в 2003 г. международный аэропорт Пудонг Шанхая с одной из станций городского метрополитена (рис. 2.14). Линия построена на основе германской системы «Transrapid». Но и она фактически работает в экспериментальном режиме и не играет сколь-нибудь заметной роли в обеспечении транспортной связи одного из крупнейших аэропортов КНР с центром города.

Возможно, катализатором создания первой магистральной высокоскоростной линии для транспортных средств на магнитном подвешивании может стать сложная транспортная ситуация, складывающаяся



Рис. 2.14. Станция маглев-дороги системы «Transrapid». Шанхай. КНР 2010 г.

в японском регионе Токио — Нагоя — Осака на острове Хонсю. На этом направлении прогнозируется устойчивый рост пассажиропотока, с которым, по мнению экспертов, через 15—20 лет не справится существующая транспортная система, включая ВСМ, железную дорогу узкой колеи, авиационные перевозки и автомобильный транспорт.

Как основные рассматривались два варианта улучшения транспортного сообщения и оба предполагают строительство новой высокоскоростной магистрали «Тюо Синкансэн» (от японского — «Центральная магистраль») Токио — Нагоя — Осака по кратчайшему расстоянию через горный массив. Один вариант предполагает строительство высокоскоростной железной дороги классического типа, рассчитанной на скорость 350—400 км/ч; другой — сооружение первой междугородной высокоскоростной линии для подвижного состава на магнитном подвешивании.

О втором варианте пока говорят очень сдержанно, со многими оговорками. Технически и технологически Япония способна создать магистральную высокоскоростную

транспортную систему на магнитном подвешивании, пригодную для коммерческой эксплуатации. Ключевым вопросом является стоимость проекта, которая превышает этот показатель для строительства ВСМ классического типа, сооружаемых в сходных географических условиях, примерно в 5—6 раз). Обсуждается возможное строительство, ориентировочно к 2030 г., первого участка Токио — Нагоя (286 км). Срок завершения всей магистрали предварительно намечен не ранее 2045 г.

Изобретатели монорельсовых дорог XIX и XX в. были уверены в превосходстве и перспективности этого вида транспорта по сравнению с классическими железными дорогами, однако говорить об этом еще рано. Суммарная длина монорельсовых дорог в мире составляет всего около 550 км. Из них около 60 линий имеют подвижной состав из вагонов на колесах и одна система — с подвижным составом на магнитном подвешивании (Шанхай). Наиболее протяженными являются монорельсовые дороги в Шанхае — (КНР) 30 км; Осаке (Япония) — 23,8 км; Диснейлэнде, Флорида, (США) — 23,6 км; в Токио (линия к аэропорту «Ха-

неда», Япония) — 17,8 км. Старейшая из действующих монорельсовых линий в Вуппертале (Германия) имеет длину 13,3 км. Большая часть монорельсовых дорог имеет протяженность 2—3 км, они расположены на территории зоопарков, городков аттракционов и парков отдыха. Для сравнения: протяженность всех железных дорог классического типа — более 1 млн 200 тыс. км.

Главной причиной того, что ВСМ на магнитном подвешивании фактически так и не вышли из стадии эксперимента, является то, что за последние 30 лет достигнут существенный прогресс в сооружении и эксплуатации высокоскоростных железных дорог классической системы «колесо—рельс». Ученые и инженеры железнодорожного транспорта убедились в том, что эта система в повседневной эксплуатации надежна, экономична и безопасна, и, преодолев рубеж 250 км/ч, вполне обеспечивает движение поездов со скоростью 300—350 км/ч. По мнению специалистов, применение в будущем новых конструкций пути, подвижного состава, систем управления и безопасности позволит поднять максимальную скорость движения на ВСМ до 450—500 км/ч.

Высокоскоростные монорельсовые магистрали могут претендовать на тот же диапазон значений скорости и расстояния, что и высокоскоростные железные дороги. Оценивать экономичность рассматриваемых конкурентных систем следует как по прямым капитальным затратам, так и по расходам, связанным с эксплуатацией дорог. При этом необходимо принимать во внимание следующее.

Во-первых, сооружение эстакад для монорельсовых систем с магнитным подвешиванием экипажей требует значительно большего количества металла, в частности цветного, что дороже традиционных видов

железнодорожного полотна, пусть даже и усиленного, рассчитанного на высокие скорости.

Во-вторых, эксплуатация совершенно нового вида транспорта — монорельсовых дорог — значительно сложнее, чем рельсовых ВСМ, из-за несопоставимых подходов к содержанию и ремонту (работа на высоте, обязательное наличие притрассовых автомобильных дорог, необходимость более высокой квалификации обслуживающего персонала и т.д.).

В-третьих, монорельсовые системы не совместимы с общей сетью железных дорог, что затрудняет организацию беспересадочных маршрутов и сказывается на их конкурентоспособности. Следовательно, в перспективе возможно создание лишь локальных, изолированных монорельсовых транспортных систем.

И, в-четвертых, остается пока открытым вопрос о степени негативного влияния на человека сильных электромагнитных полей — непереносимого свойства магнитолевитирующих транспортных систем, а следовательно, и способа защиты от него пассажиров и обслуживающего персонала, однако в этом направлении ведутся интенсивные исследования.

Все это говорит о том, что вряд ли можно предполагать в ближайшие годы широкое коммерческое внедрение нетрадиционного направляемого наземного вида транспорта. Можно ожидать, что научно-технический прогресс рано или поздно заставит потесниться в некоторых «нишах» колесные системы «колесо—рельс», и это, скорее всего, будут дороги с магнитолевитирующим подвижным составом. Ближайшие 10—15 лет покажут, способны ли маглев-поезда заполнить транспортную «нишу» в диапазоне скоростей 400—500 км/ч на расстояниях 1000—1500 км.

Глава 3

Экологические аспекты сооружения и эксплуатации высокоскоростных железных дорог

3.1. Исторический очерк экологии транспортных систем

В полной мере проблема конфликта между человеком и окружающим его миром стала понятна передовым ученым в XX в. Последствия Второй мировой войны, фундаментальные открытия в области физики, химии, биологии, нашедшие применение при создании оружия массового поражения, катастрофические результаты промышленного воздействия на природные комплексы ряда районов мира в 50—60-х годах XX столетия послужили мощным катализатором общественного интереса к проблемам выживания человечества в условиях обостряющегося конфликта человека с окружающим миром.

В 1987 г. Всемирная комиссия ООН по окружающей среде опубликовала доклад «Наше общее будущее», в котором было введено понятие *устойчивое развитие* как модель существования человечества, при котором достигается удовлетворение жизненных потребностей ныне живущих людей без лишения такой же возможности будущих поколений. Окончательно принцип устойчивого развития утвердился в методологии оценки тех или иных технических, технологических, социально-экономических и даже культурных проектов с точки зрения их экологической приемлемости после принятия в июне 1992 г. на Конфе-

ренции по охране окружающей среды в Рио-де-Жанейро специальной «Декларации об окружающей среде и развитии». Документ, известный под названием «Декларация Рио».

Всемирная конференция по охране окружающей среды, проведенная Организацией объединенных наций в июне 1992 г., стала первым крупным международным форумом по проблемам охраны окружающей среды столь высокого уровня. Большинство стран-участниц были представлены первыми лицами — главами государств или правительств. В этом документе нашли отражение и проблемы безопасного развития транспорта, в частности отмечалась необходимость поощрять развитие менее загрязняющих и более безопасных систем транспорта, особенно общественного, т.е. «способствовать переходу на безопасные, эффективные с точки зрения использования ресурсов и менее загрязняющие окружающую среду транспортные технологии».

Транспортно-дорожный комплекс является одним из самых крупных потребителей мировых природных ресурсов, его составляющая в суммарном количестве загрязнителей, выбрасываемых в окружающую среду в процессе жизнедеятельности людей, достигает почти половины от их общего количества. Так, в Российской Федерации на долю транспорта приходится 53,5 % выбросов загрязняющих веществ.

Для производства транспортной техники (самолетов, автомобилей, железнодорожного подвижного состава, судов) используется значительная доля продукции металлургического, химического и других видов производств. В США для выпуска автомобилей потребляется от общего производства: стали — 20 %, никеля — 13 %, цинка — 35 %, натурального каучука — более половины.

Однако было бы ошибочно думать, что экологические требования к транспортной технике появились только в XX столетии. Уже во втором десятилетии XIX в. в Великобритании в «Законе о железных дорогах» короля Георга IV¹ было сформулировано требование: «Паровоз должен эффективно поглощать свой собственный дым» (пункт 7). Речь шла об устройстве искроуловителей и обеспечении полного сгорания топлива в топке паровоза. На протяжении многих десятилетий эта проблема была одной из важнейших для конструкторов паровых локомотивов.

Позже создание электрического рельсового транспорта во многом стимулировалось необходимостью решения именно экологических проблем. Использование паровых трамваев, строительство скоростных городских эстакадных и подземных железных дорог (метрополитенов) в ряде крупных городов мира в XIX в., встретило широкое недовольство общественности. Поэтому электрические трамваи — самый быстрый и комфортабельный вид городского транспорта, так же как и электрификация метрополитенов, были весьма благожелательно приняты публикой, прежде всего в силу своей экологической чистоты. Жители не хотели мириться с задымлением, загазованностью воздуха от паровых локомотивов, особенно в черте городов, на крупных станциях. Этим была обусловлена электрификация первых участков пригородных и магистральных железных дорог.

В 1883 г. инженер М. Волк (Volk), с использованием оборудования «Siemens» построил электрическую железную дорогу в Англии на морском побережье, в районе курортного города Брайтон, где исключалась возможность использования паровой тяги. Первый электрифицированный участок магистральной дороги был осуществлен в тоннеле при выходе на станцию Балтимор (США) в 1893—95 гг. взамен паровой тяги. Электрификация обеспечила безопасное движение и комфортные условия проезда пассажиров при интенсивном движении поездов по станции. В силу этих же обстоятельств в начале XX века были электрифицированы участки на подходах к одному из самых загруженных вокзалов Парижа — Орсе, а также курортная линия Колико — Чиавенна (Colico — Chiavenna) длиной 26,5 км на Вальтеллинской железной дороге в Италии в 1901 г.

3.2. Сравнение экологии транспортных систем²

При анализе воздействия транспорта на окружающую среду учитывается ряд факторов, которые условно можно разбить на две группы.

К первой группе относятся те, которые мало или совсем не связаны с местными географическими, природными и другими особенностями того или иного региона, в пределах которого действует транспортная система. Это уровень безопасности перевозок, использование (занятие) земель, потребление энергии и выбросы вредных веществ, шумовое, вибрационное загрязнение, электромагнитные и другие виды излучений. Проявление перечисленных факторов практически одинаково для транспортных систем в разных странах, в горной или равнинной местности, в лес-

¹ Георг IV (1762—1830) — король Соединенного королевства Великобритании и Ирландии, король Ганновера с 1810 по 1830 г.

² В п. 3.2. и 3.3 использованы материалы совместных публикаций авторов с А.Ф. Алимовым, Г.К. Зальцманом, С.В. Зубаревым, Г.К. Ивахнюком, А.П. Прониным и А.И. Чистобаевым.

ной или пустынной зоне. Безусловно, различия есть, но они столь невелики, что ими часто можно пренебречь. В гораздо большей степени проявляются различия в действии тех или иных факторов в зависимости от социально-культурных особенностей разных стран. Например, уровень безопасности того или иного вида транспорта во многом определяется социальными факторами — квалификацией, дисциплинированностью персонала, законопослушностью граждан и т.д.

Вторая группа факторов влияния транспортной системы на окружающую среду непосредственно связана с природными, климатическими, географическими, геологическими условиями той или иной местности или региона, т.е. воздействие на ландшафты, геологическую и гидрологическую среду, лесной и животный мир, имеющее социальные последствия для жизнедеятельности человека. Эту группу факторов необходимо рассматривать, соотносясь с конкретными условиями той или иной трассы, того или иного маршрута.

Безопасность перевозок, несомненно, является важнейшим фактором, который учитывается при определении стратегии развития транспортной системы, в том числе и с позиции охраны окружающей среды.

Сравнение работы железнодорожного, воздушного и автомобильного транспорта показывает, что самый массовый автотранспорт остается и самым опасным. Как отмечается в ряде фундаментальных исследований, расчеты и прогнозы, связанные с безопасностью автомобильного движения, достаточно сложны. Одним из основных показателей безопасности пассажирских перевозок является число погибших и травмированных в дорожно-транспортных происшествиях. Между тем в разных странах приняты отличающиеся друг от друга правила регистрации фатальных исходов и травматизма: в одних странах учет ведется по последствиям на месте происшествия, в других, как это предлагается в методиках ООН, — в течение 30 суток после события. Несмотря на все предпринимаемые организационно-технические меро-

приятия, улучшение дорожной инфраструктуры и совершенствование автомобильного парка, в автокатастрофах на дорогах Европы ежегодно гибнет 50—60 тыс. чел. и около 5 млн получают травмы. Эти цифры практически не имеют тенденции к снижению, хотя уровень безопасности на автотранспорте весьма отличается по странам. Так, число погибших на 1 млрд пасс-км колеблется от 2,7 в Великобритании до 25,1 в Испании.

Год от года обостряется ситуация и на авиационном транспорте, хотя безопасность перевозок здесь намного выше, чем на автомобильном. В авиакатастрофах, по разным источникам, случается от 0,15 до 0,4 смертельных исходов на 1 млрд пасс-км. Небо над Европой становится все более тесным для увеличивающегося объема авиaperевозок. Чрезвычайно высока плотность воздушных трасс. Уже 20 лет назад в регионе Западной Европы, условно обозначенном на карте в границах, проведенных через Лондон, Брюссель, Мюнхен, Милан, Лион, Лондон, в сутки совершалось более 500 полетов. В регионе Ливерпуль — Амстердам — Вена — Рим — Бордо — Ливерпуль — от 270 до 499, в пределах Дублин — Стокгольм — Афины — Мадрид — Дублин — от 170 до 269 полетов. За два десятилетия плотность полетов значительно увеличилась, что не может не сказаться на безопасности.

Железнодорожный транспорт, в сравнении с другими видами транспорта, имеет вполне удовлетворительные показатели. Качественный скачок в повышении безопасности пассажирских перевозок железнодорожным транспортом достигнут на специализированных высокоскоростных железнодорожных магистралях. С 1964 г. до 2011 г., на ВСМ в мире не погиб ни один пассажир, хотя в целом и произошло более десятка аварий. Первая катастрофа с гибелью пассажиров на высокоскоростной железнодорожной магистрали произошла в июле 2011 г. в КНР¹.

¹ 23 июля 2011 г. в КНР вблизи города Вэньчжоу произошло столкновение (нагон одного высокоскоростного поезда другим), в результате чего погибли 33 и были ранены более 190 чел.

До 2001 г. самый серьезный инцидент со скоростным поездом на железнодорожной линии, реконструированной для скорости движения до 200 км/ч (не специально построенной ВСМ) произошел в 1998 г. в Германии в районе станции Эшеде, где в результате крушения поезда ICE1 погибли около 100 пассажиров. Среди специалистов-железнодорожников, в частности на конгрессе в 1998 г. в Берлине, развернулась дискуссия о правомерности отнесения этой катастрофы, как это было сделано в ряде средств массовой информации, к области высокоскоростного железнодорожного движения. Линия, на которой произошел сход поезда ICE1, не относится к высокоскоростной специализированной железнодорожной магистрали (ВСМ). Даже вклю-

чение в статистику этой первой за десятилетия катастрофы, произошедшей с высокоскоростным поездом, двигавшимся по обычной железной дороге, подтверждает, что высокоскоростные поезда являются самым безопасным видом транспорта. На 1 млрд пасс-км, выполненных высокоскоростными поездами, пришлось 0,1 случая со смертельным исходом, что в 1,5 раза меньше, чем при авиаперевозках. Однако даже с учетом указанных происшествий, безопасность перевозок по ВСМ остается выше, чем любыми другими видами магистрального транспорта.

Использование земель. ВСМ требуют значительно меньшей территории в сравнении с автомагистралями такой же пропускной способности (рис. 3.1, 3.2). Так,



Рис. 3.1. Характерный вид скоростного автомобильного шоссе в часы пик в пригороде одного из мегаполисов



Рис. 3.2. Сопоставление полосы отвода, необходимой для строительства ВСМ и скоростной автомагистрали, одинаковой провозной способности

по сведениям МСЖД в западноевропейских странах по двухпутной линии ВСМ при необходимой полосе отвода 25 м (в целом 1 км линии занимает 3,2 га земли) в час пропускается до 12 пар поездов, способных перевезти при стандартной компоновке около 16 тыс. пассажиров (исходя из усредненной загрузки 666 пассажиров в поезде). Для обеспечения такой провозной способности автомагистраль должна быть не менее чем шестиполосной (по три полосы в каждом направлении). Тогда теоретически при расчетном потоке 4,5 тыс. автомобилей в час (25 автомобилей по каждой полосе в минуту) и при средней статистической загрузке автомобиля, равной 1,7 человека, в час будет переведено 15,3 тыс. пассажиров. Строительство такой автостреды потребует полосы отвода шириной 75 м (на 1 км трассы необходимо в общем 9,3 га земли).

При сопоставлении величины полосы отвода, необходимой для устройства высокоскоростной железнодорожной магистрали, и эквивалентного ей по провозной способности скоростного автомобильного шоссе (4—6 полос движения) необходимо учитывать не просто площадь полосы от-

вода, а землю, изымаемую из биологического оборота, что является более важным фактором с позиций охраны окружающей среды. В полосе отвода, за исключением площади, непосредственно занятой дорожным покрытием (шоссе) или путевой структурой (ВСМ), продолжают расти трава, кустарники, обитают насекомые и мелкие грызуны, гнездятся птицы. При сооружении ВСМ из биологического оборота изымается около 1,3—1,5 га на 1 км трассы, в то время как при строительстве автомагистрали равной провозной способности из биологического оборота изымается примерно 2,9—4,5 га на 1 км длины трассы.

Воздушный транспорт требует выделения земель для аэропортов, которые при сопоставимых объемах перевозок занимают примерно такие же площади, как и линии ВСМ в целом со всей инфраструктурой — станциями, депо и т.п. При этом необходимо учитывать, что помимо непосредственного занятия территории аэропортом вокруг него необходима защитная зона от шумового воздействия, в которой проживание людей связано с большим дискомфортом. Например, площадь аэропорта Шарль-де-

Голль Руасси под Парижем равна 3000 га, а вся высокоскоростная линия Париж — Лион протяженностью 410 км, включая станции, депо и объекты инфраструктуры, занимает 2400 га. При этом пассажирооборот, осуществляемый через этот аэропорт, и пассажиропоток по ВСМ Париж — Лион в пассажиро-километрах сопоставимы. Важно отметить, что занятие земель под аэропорты происходит именно вблизи городов, где они особенно ценны.

Между тем значительная часть европейских, американских и других крупных аэропортов нуждается в расширении. Из 27 крупнейших аэропортов Западной Европы 16 исчерпали резервы своей пропускной способности. Такие аэропорты, как Франкфурт-на-Майне (Германия), Гатвик и Хитроу (Лондон) и ряд других имеют дефицит пропускной способности 30—40 %, что не может не сказаться на безопасности полетов и уровне обслуживания пассажиров. В целом по сравнению с авиацией для железных дорог удельная потребность в отводе земель снижается с 0,35 га/млн пасс.-км (авиация) до 0,31 га/млн пасс.-км (ВСМ).

При сопоставлении объемов землеотвода под инфраструктуру для различных видов транспорта необходимо учитывать, что перевод части пассажиропотока с существующих авиалиний или с автотранспорта на ВСМ не приводит к возврату в биологический оборот территорий, занятых автострадами или аэродромами. Однако по-другому обстоит дело, если речь идет о развитии транспортного коридора и выборе конкретной транспортной системы из нескольких возможных, как, например, в коридоре Санкт-Петербург — Москва. В этом случае при строительстве ВСМ вместо расширения шоссе или аэропортов будет весьма ощутим эффект меньшего изъятия земель.

Потребление энергии и выбросы вредных веществ. Рост потребления энергии человечеством и увеличение вследствие этого выбросов диоксида углерода провоцируют не только местное загрязнение атмосферы, но и явления планетарных масштабов, в частности так называемый «пар-

никовый эффект», из-за чего уменьшается отдача тепловой энергии с поверхности Земли через атмосферу в космическое пространство. Нарушение теплового баланса, по мнению экспертов, приводит к потеплению климата нашей планеты.

Транспорт остается одним из основных источников выбросов диоксида углерода и других загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу в результате деятельности человека. За последние 150 лет диоксида углерода в воздушном океане нашей планеты стало больше примерно на 30 %, количество метана выросло вдвое, закиси азота — на 15 %, больше стало пыли в воздухе из-за увеличения площади пустынь на Земле, соединения серы вызывают кислотные дожди. Приняв у XIX века одну атмосферу, человечество передает XXI веку совсем другую, гораздо менее пригодную для жизни.

Железнодорожный, особенно высокоскоростной электрический транспорт, имеет преимущества перед автомобильным и авиационным транспортом с точки зрения меньшего удельного выброса не только диоксида углерода, но и всего спектра выделяемых загрязняющих веществ. Применение электрической тяги с использованием энергии, полученной на крупных тепловых или атомных станциях, является важным фактором снижения транспортной составляющей воздействия на окружающую среду.

Самое большое загрязнение воздушной среды от авиатранспорта происходит в зоне аэропортов. Здесь в сутки на площади 1 км² выпадает до 1,5 т загрязнителей. Один современный реактивный самолет потребляет в течение одного часа 15 т топлива и 525 т воздуха, выбрасывая в окружающую среду 46,8 т диоксида углерода, твердых частиц. Эти вещества сохраняются в атмосфере в среднем два года. По расчетам американских специалистов, в 1995 г. воздушный транспорт США выбрасывал в атмосферу около 10 % всех загрязняющих веществ, образующихся при работе транспорта.

По данным МСЖД электрифицированным железным дорогам, к которым относят-

ся и ВСМ, имеют в суммарной энергетической цепочке от генерирующих мощностей до тяговых двигателей подвижного состава наименьшие показатели выброса CO_2 на 100 пасс-км — 4 кг. Для сравнения: на автотранспорте эта величина равна 14 кг, у современных самолетов — 17 кг.

Технические и технологические достижения последних лет на транспорте не меняют принципиально картину соотношения между различными видами транспорта в их воздействии на окружающую среду. На рис. 3.3 приведены обобщенные данные исследований, проведенных японскими учеными, из которых видно, что легковые автомобили, выполняя в Японии 50 % общего объема перевозок (в пасс-км), потребляют 71 % топлива, а железным дорогам, осуществляющим 27 % общего объема перевозок, достаточно только 7 % всего объема топлива, предназначенного транспортному комплексу.

Половины энергии, которая потребляется сегодня легковыми автомобилями стран Европейского Союза, или одной трети того, что используется авиацией на полетах внутри континента, было бы достаточно для перевозки тех же пассажиров на те же расстояния поездами ВСМ, при этом выбросы CO_2 составили бы только половину от производимых самолетами или автомобилями.

Говоря о потреблении топлива транспортными средствами, важно отметить, что в авиации и на автотранспорте практически невозможен возврат энергии при торможении.

Нажимая на педаль тормоза автомобиля, мы переводим безвозвратно энергию горючего, использованную при разгоне машины, в тепло тормозных колодок и дорожного покрытия, нагревая атмосферу. Многочисленные конструкции аккумуляторных автомобилей, в том числе электрических, механических инерционных и других, способных в принципе к рекуперации энергии при торможении, так и не вышли из стадии эксперимента. Мировой нефтяной кризис 1973—1974 гг. в значительной мере усилил интерес к разработкам электромобилей с аккумуляторами, топливными элементами, гибридных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания и аккумуляторами, как электрическими, так и инерционными (маховиками), а также к троллейбусам с двигателями внутреннего сгорания и аккумуляторами. В различных странах (Великобритании, Германии, США, СССР, Японии и др.) десятки проектных институтов и компаний предложили свои идеи, провели исследования и опытные разработки. Однако в настоящее время о серьезных успехах в коммерческом применении электрической тяги на автомобильном транспорте говорить не приходится. Троллейбус-электромобиль с питанием от контактных проводов, также, по идее, имеющий возможность возвращать в сеть энергию при торможении, получил весьма ограниченное применение.

Таким образом, говоря об уменьшении потребления энергии на транспорте за счет ее рекуперации при торможении, все-

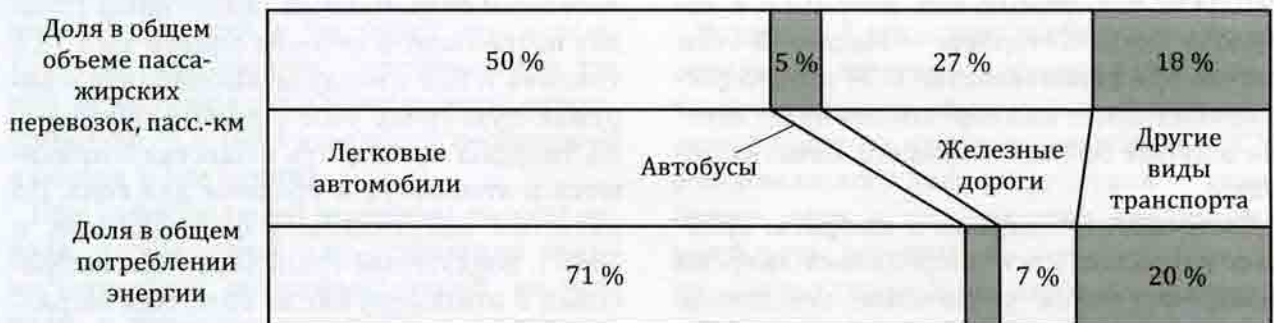


Рис. 3.3. Сопоставление объемов пассажирских перевозок и потребления топлива различными видами транспорта Японии

ръем можно рассматривать только электрическую железную дорогу. Современные конструкции электрического преобразовательного оборудования на железнодорожном электроподвижном составе позволяют в коммерческой эксплуатации, в зависимости от профиля линии, возвращать в контактную сеть при торможении поездов от 8 до 20 % энергии.

Достижения в области конструирования подвижного состава и применение новых материалов позволяют, уменьшая удельную нагрузку на ось за счет снижения массы и улучшая аэродинамические характеристики поездов, существенно сократить сопротивление движению и, как следствие, снизить расход энергии на тягу.

Так, высокоскоростной поезд серии E2 Восточной железной дороги Японии на маршруте Токио — Сэндай потребляет 7000 кВт·ч электроэнергии, преодолевая расстояние в 325 км с максимальной скоростью 275 км/ч. Поезду серии 200 первого поколения для осуществления такой же поездки со скоростью 210 км/ч потребовалось бы 7500 кВт·ч.

Электромагнитное излучение. С точки зрения воздействия на человека электромагнитного излучения электрифицированные железные дороги, к которым относятся и высокоскоростные магистрали, не представляют опасности.

При электроснабжении поездов ВСМ переменным током напряжением 25 кВ (и тем более — постоянным током 3 кВ) уже в пределах габарита приближения строения на уровне головы человека напряженность электромагнитного поля становится меньше допустимой санитарной нормы. Пассажиры, находящиеся в подвижном составе, надежно изолированы экраном, которым служат металлические элементы кузова вагона, соединенные с землей через тележку, колесо и рельс.

По этому фактору авиационный транспорт, использующий мощные установки радиолокационного контроля, а также полеты пассажиров в самолетах на высотах около 10 км, где достаточно велика интенсив-

ность космического излучения, несравненно более опасны для здоровья людей.

Безусловно, объективную оценку экологических аспектов того или иного проекта может дать только всесторонняя научная экспертиза. В этой ситуации чрезвычайно важно иметь достоверную и объективную информацию о характеристиках тех или иных видов транспорта. МСЖД, другими организациями, отдельными учеными были представлены обширные данные результатов исследований последних лет, подтверждающие показатели высокой экологической безопасности ВСМ в сравнении с другими видами транспорта.

В мире утвердился комплексный подход к оценке суммарных дополнительных издержек, которые несет человечество при обеспечении перевозок тем или иным видом транспорта. Так, в представленных МСЖД данных приведены (в расчете на 1000 пасс.-км), усредненные дополнительные издержки, связанные с пассажирскими перевозками легковыми автомобилями, автобусами, электрической железной дорогой (ВСМ), современными самолетами (рис. 3.4). В сумму затрат по каждому виду транспорта вошли расходы, связанные компенсацией глобального изменения климата (с учетом двух сценариев развития событий: низкого (более благоприятного) и высокого; эффектом урбанизации территории; затратами на подготовку территории к строительству и ее последующую рекультивацию; компенсацией ущерба живой природе и природным ландшафтам; загрязнением воздуха; защитой от транспортного шума; последствиями несчастных случаев (ущерб здоровью и гибелью людей; ущерб природе, восстановление транспортных и других постоянных сооружений и подвижного состава).

Из приведенных данных видно, что ВСМ имеют самые высокие интегрированные экологические показатели. Перевозки по высокоскоростным железным дорогам требуют наименьших суммарных издержек для компенсации ущерба окружающей среде: 22,9 евро на 1000 пасс.-км.



Рис. 3.4. Усредненные дополнительные издержки (евро) при пассажирских перевозках различными видами транспорта в пересчете на 1000 пасс.-км

Вместе с тем из приведенных данных видно, что при сооружении ВСМ почти треть всех внешних дополнительных издержек связана с затратами на подготовку к строительству и последующую рекультивацию территории. Действительно, с одной стороны, в целях обеспечения безопасности функционирования ВСМ необходимо сплошное ограждение полосы отво-

да высокоскоростной магистрали, исключаящее проникновение на железнодорожные пути посторонних лиц, диких и домашних животных, исключаящее проход или проезд через пути по переездам или переходам, находящимся в одном уровне с магистралью (рис. 3.5). В то же время, для минимизации неудобств, причиняемых жителям местности, по которой про-



Рис. 3.5. Сплошное ограждение на всем протяжении ВСМ Париж — Лион. Франция. 1982 г.

ходит трасса высокоскоростной железной дороги, сокращения ущерба, наносимого живой природе, необходимо затратить немалые средства на создание многочисленных пересечений с ВСМ в разных уровнях со всеми транспортными коммуникациями. На высокоскоростных магистралях устраивается гораздо больше путепроводов для передвижения жителей, проходов для



Рис. 3.6. Микротоннель для прогона скота на ВСМ Париж — Лион, Франция. 1982 г.

прогона скота (рис. 3.6), необходимых для снижения разобщения территорий.

В последние годы при строительстве железных дорог, в том числе ВСМ, а также автомагистралей начинают создавать так называемые «ландшафтные» пересечения: прокладка тоннелей мелкого заложения или сооружение широких путепроводов, маскируемых травой, посадки кустарников, деревьев для пешеходных связей между территорией по обеим сторонам магистрали, практически не нарушающие для жителей естественные зоны отдыха, прогулок, занятий спортом и т.п. (рис. 3.7).

При прохождении трассы ВСМ через особо охраняемые территории устраиваются специальные переходы для диких животных, обустроенные с максимальным приближением к естественному природному виду (грунтовая или травяная поверхность перехода), не изменяющие традиционные пути их миграции (рис. 3.8). Для сохранения путей передвижения мелких животных, в частности грызунов и пресмыкающихся в тело насыпи закладывают железобе-



Рис. 3.7. Пример рекультивации территории после строительства ВСМ с устройством пути в выемке для защиты от шума и сооружением, так называемых, «ландшафтных» путепроводов, скрывающих железнодорожные пути. Великобритания. 2000 г.



Рис. 3.8. Переход для диких животных. ВСМ Атлантик. Франция. 1991 г.



Рис. 3.9. Железобетонная труба — проход под насыпью для мелких животных. ВСМ Париж — Лион. Франция. 1982 г.

тонные трубы диаметром около полуметра, несколько поднятые над уровнем земли и незаливаемые водой даже при сильных осадках (их иногда шутливо называют «лягушкопроводы»), соединяющие территорию по обеим сторонам ВСМ (рис. 3.9).

Результаты анализа показывают те области исследований, на которых необходимо сосредоточиться при подготовке к реализации проектов ВСМ для минимизации внешних издержек: поиск щадящих методов строительства для сокращения затрат на подготовку и рекультивацию территории, а также борьбу с шумом, генерируемым поездами ВСМ.

3.3. Снижение шума — основная задача улучшения экологических характеристик высокоскоростных железных дорог

Высокоскоростные железные дороги имеют неоспоримое преимущество перед другими видами транспорта по всему комплексу факторов воздействия на окружающую среду, в том числе и по шумовым характеристикам. Как показали исследования, ВСМ производят меньший шум по сравнению с автомагистралью одинаковой провозной способности, при этом его спектральные характеристики и периодичность проявления имеют свойства, меньше беспокоящие

человека. В то же время хорошо отработаны и весьма эффективны методы защиты от шума, производимого ВСМ, с помощью инженерных устройств — искусственных насыпей, экранов (барьеров), лесонасаждений, что практически нельзя сделать по отношению к авиотранспорту. В то же время от шума взлетающих и заходящих на посадку авиалайнеров защитить население невозможно иным способом, кроме отселения жилых строений из защитной акустической зоны аэродрома.

Однако в силу того, что линии ВСМ входят в центральные городские районы, а шум, производимый поездами, увеличивается по мере роста скорости движения (на чем мы делаем акцент), перед администрацией железных дорог стоит выбор: снижение скорости движения поездов в населенных пунктах или поиск эффективных средств борьбы с шумом от подвижного состава. Эта проблема имеет социально-исторический оттенок. Грохот поездов Нью-Йоркской эстакадной дороги или Парижского метро на наземных участках со скоростью 40—50 км/ч, сейчас во много раз превосходит шум современного поезда при скорости 200 км/ч. Однако то, с чем мирись в конце XIX в., стало неприемлемо в конце XX в.

Первыми с этой проблемой во всей ее остроте столкнулись японские железнодорожники. Ограниченность территории и высокая плотность населения поставили в Японии проблему борьбы с транспортным

шумом в число приоритетных. В середине 60-х годов XX столетия, когда в Японии была открыта первая ВСМ Токио — Осака, в стране не было законодательных ограничений на уровень шума в общегосударственных масштабах. Быстрый рост объемов перевозок по линии Токайдо — Синкансэн, значительная часть трассы которой проходила по заселенным территориям, выдвинул на первый план проблему снижения шума от ВСМ в ряду других вопросов развития высокоскоростного движения. В 1968—1972 гг. в Японии были приняты законы, регламентирующие уровень шума. В частности, в жилой зоне — не более 70 дБ(А), в промышленной — 75 дБ(А). Это потребовало принятия срочных мер по снижению уровня шума от поездов Синкансэн до обозначенной нормы. Весьма характерный пример: на линии ВСМ «Дзё-эцу» к востоку от Токио первоначально движение поездов было ограничено именно по шумовым параметрам скоростью 210 км/ч, хотя тягово-энергетические характеристики подвижного состава и состояние пути позволяют развивать скорость 260 км/ч.

К настоящему времени в результате исследований и инженерных разработок, проводившихся в разных странах в последние три десятилетия, установлены причины и определены эффективные средства снижения шумового воздействия от поездов. К ним относятся: во-первых, улучшение акустических параметров высокоскоростного подвижного состава и постоянных устройств ВСМ и, как следствие, меньшая генерация шума поездами, конструкциями пути при больших скоростях движения; во-вторых, эффективные инженерные и организационно-технические методы защиты от шума, генерируемого при прохождении поездов по высокоскоростным магистралям.

Снижение шума механического происхождения, источником которого являются рельсы и колеса, обеспечивается повышением качества рельсов: большей ровностью поверхности катания, а также регулярным проведением регламентных работ по поддержанию на должном уровне по-



Рис. 3.10. Шлифовка поверхности головки рельса

верхности головки рельса своевременной шлифовкой (рис. 3.10) и поверхности катания колес регулярной проточкой.

Значительные успехи были достигнуты в области конструирования малозагрязняющих колес. Так, на последних опытных поездах Синкансэн (Япония) прошли успешные испытания колеса с упругими промежуточными элементами. Обнаружилось явление, природа которого еще не изучена полностью, при котором использование колес с упругими промежуточными элементами снижает уровень вибрации в рельсах в частотном диапазоне около 1 кГц и повышает уровень вибраций в колесах в диапазоне 1,6—4 кГц, в результате чего уровень шума внутри вагонов и на расстоянии 25 м от оси пути снижается на 2 дБ (Аэкв). Необходимо отметить, что при скорости более 300 км/ч доминирующей становится аэродинамическая составляющая внешнего шума от поезда.

Аэродинамический шум пропорционален аэродинамическому сопротивлению поезда и растет в квадратичной зависимости от скорости (рис. 3.11):

$$W_a = C v^2,$$

где W_a — аэродинамическое сопротивление поезда;

$$C = K1S + K2L_p;$$

где $K1$ — параметр, зависящий от формы головной и хвостовой частей поезда; S — площадь поверхности головной или хвостовой части; L — длина поезда; p — периметр сечения вагона до уровня головки рельса; $K2$ — параметр, зависящий от типа поверхности внешней обшивки подвижного состава; v — скорость поезда.

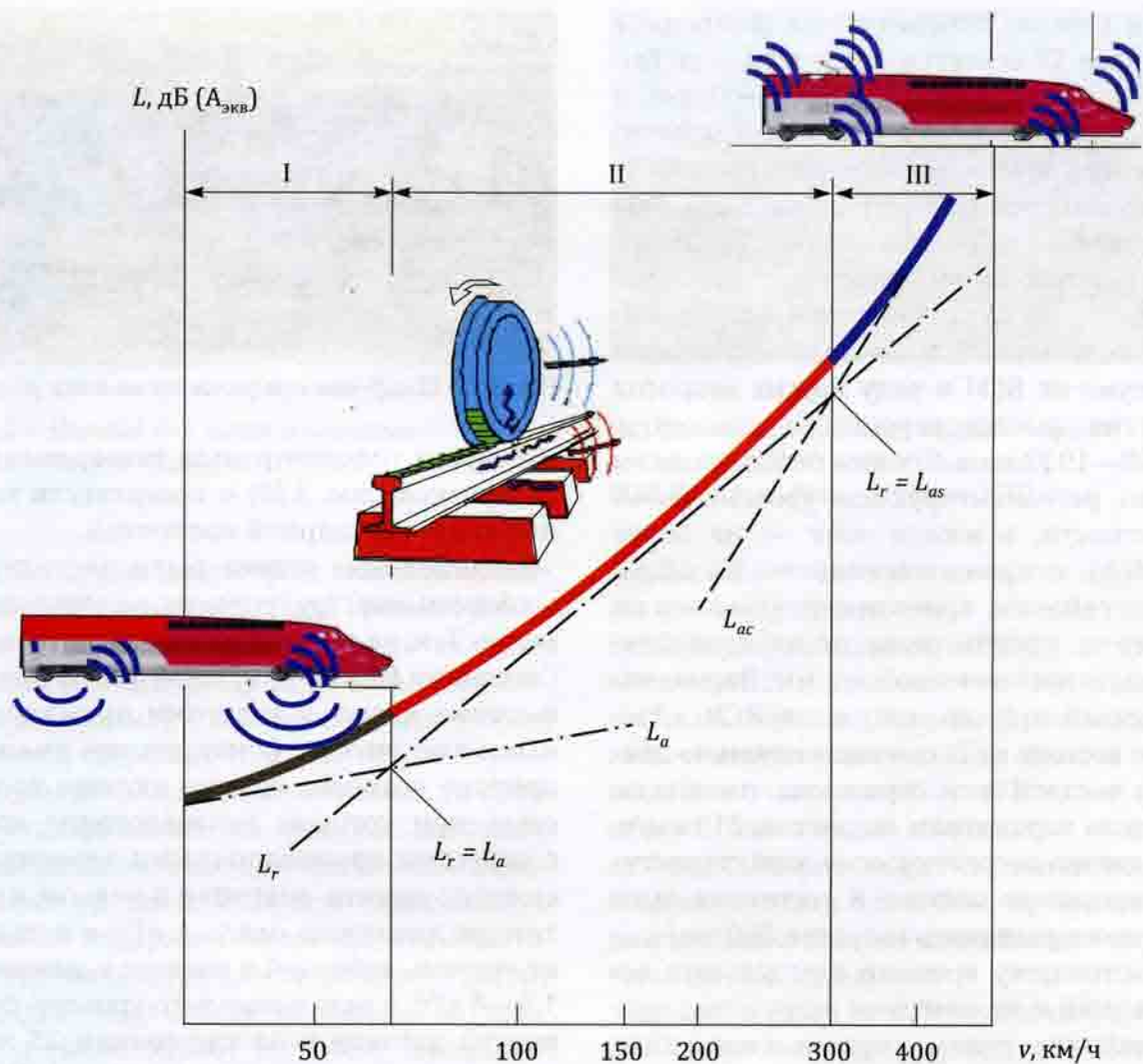


Рис. 3.11. Зависимость уровня шума поезда от скорости: L_a — шум от тягового электропривода, L_r — шум от качения колес по рельсам, L_{as} — аэродинамический шум. Зоны: I — низкой скорости (до 60 км/ч) — доминирует шум от тягового электропривода, II — средних скоростей (от 60 до 300 км/ч) — преобладает шум, генерируемый зоной контакта колеса с рельсом, III — высоких скоростей (более 300 км/ч) — сильнее всего шум аэродинамического происхождения

Как видно из приведенной формулы, для улучшения аэродинамических характеристик поезда и, следовательно, снижения генерируемого аэродинамического шума конструкторы имеют ограниченные возможности (рис. 3.12). Так, длина поезда связана с пассажироместностью и является заданным эксплуатационным параметром высокоскоростной линии, на которой используются поезда, и не может быть уменьшена. Для японских дорог Синкансэн у высокоскоростного поезда серии 300 удалось снизить наружную высоту вагона на

300 мм. Однако при проектировании двухэтажных вагонов для высокоскоростных поездов площадь поперечного сечения вагона значительно возрастает, что требует особых решений в области аэродинамики головной части вагона.

Таким образом, при проектировании высокоскоростных поездов объектом самого пристального внимания становятся параметры, зависящие от формы головной и хвостовой частей (K1), и параметры, зависящие от типа поверхности внешней обшивки подвижного состава (K2). На пара-

а

Аэродинамический шум от верхней части вагонов:

- шум от зазора между вагонами;
- шум, генерируемый выступами дверей и окон

Аэродинамический шум от носовой части поезда:

- шум от передней тележки, двери кабины машиниста и др.

Шум от нижней части вагонов:

- аэродинамический шум от тележек;
- шум качения колес по рельсам

Шум, генерируемый токоприемником:

- шум, генерируемый деталями самого токоприемника;
- шум, излучаемый в зоне скольжения полоза по контактному проводу

Шум, генерируемый конструкциями искусственных сооружений:

- шум, индуцируемый вибрациями конструкций

б

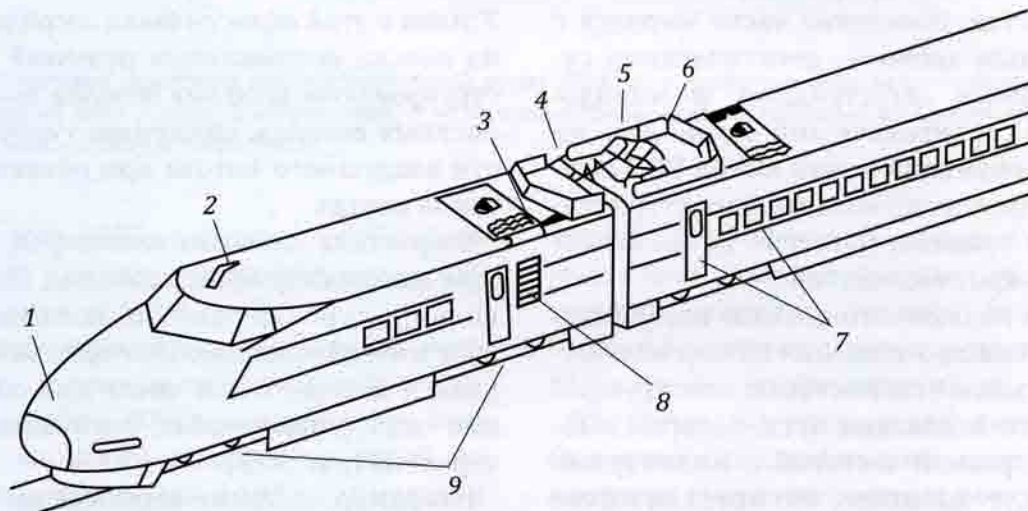


Рис. 3.12. Генерация шума при движении поезда: а — основные зоны генерации шума; б — основные детали и элементы вагонов, излучающие шум: 1 — носовая часть головного вагона; 2 — радиоантенна; 3 — оборудование, расположенное на крыше; 4 — межвагонные переходы и соединения; 5 — зона взаимодействия токоприемника и контактного провода; 6 — обтекатель токоприемника; 7 — выступающие части дверей, окон, обшивки; 8 — вентиляционное оборудование и кондиционеры воздуха; 9 — оборудование подвагонного пространства (тележки, зона контакта колеса и рельса, тяговые электродвигатели)

метр К2 влияют также конструкции межвагонных соединений, сопряжения элементов дверей и окон (стык рамы и стекла) и других элементов, распределенных вдоль длины состава, включая воздухозаборни-

ки и токоприемники. Необходимо также всесторонне оценивать плюсы и минусы увеличения скорости движения поездов, осознавая, что с ростом скорости изменяются спектральные характеристики шума,

Таблица 3.1

Источники и ориентировочные значения уровня шума, ДБ (А_{экр})

Вид и источник шума	Скорость, км/ч		
	300	320	350
От механической части подвижного состава	69,5	70,5	71,5
От рельсов, шпал (плит основания), мостовых конструкций	66	66,5	67
От токоприемника и контактного провода	68	69,5	72
Аэродинамический от верхней части подвижного состава и расположенного на ней оборудования	68	69,5	72
Общий уровень	74	75	77

излучаемого подвижным составом, источники и зоны генерируемого шумового загрязнения (табл. 3.1).

Строители ВСМ как в Японии, так и во Франции, Германии, Италии и в др. странах столкнулись также с факторами социально-психологического плана и специфическим проявлением природоохранного законодательства. Население часто мирится с «привычным злом» — десятилетиями существующими автострадами, железнодорожными сортировочными станциями, но проект сооружения новой линии ВСМ с гораздо лучшими шумовыми характеристиками, как правило, вызывает активное социальное противодействие.

Помимо подвижного состава источниками шума при прохождении поезда являются также элементы мостовых конструкций и плитного основания пути, которые вибрируют с разной частотой и амплитудой. Так, было установлено, что металлические конструкции мостов могут быть источником сильного шума. Использование на основании пути вместо рельсо-шпальной решетки на балласте железобетонных плит (безбалластное полотно) потребовало от японских специалистов, которые впервые применили плиты, больших усилий для снижения вибраций и генерации шума. Для этого были применены различные прокладки, резинокордовые маты, мастики, вязкие заполнители.

При проектировании высокоскоростных поездов объектом самого пристального внимания становятся параметры, зависящие от

формы головной и хвостовой частей поезда, и параметры, зависящие от типа поверхности внешней обшивки подвижного состава.

За последние четверть века были достигнуты значительные успехи в изучении механизма генерации шума высокоскоростными поездами и в борьбе с этим явлением. Усилия в этой области были сосредоточены на поиске оптимальных решений по конструированию внешних обводов высокоскоростных поездов, снижению турбулентности воздушного потока при обтекании вагонов поезда.

В практике японских инженеров, создающих высокоскоростные составы, стала правилом постройка опытных поездов, имеющих многочисленные экспериментальные узлы и детали, в том числе для определения аэродинамических, шумовых характеристик (рис. 3.13).

Например, опытные японские высокоскоростные поезда STAR 21, WIN 350, 300X имели на каждом из концов состава свою особую конфигурацию носового обтекателя. На поезде 300X с одной стороны была установлена веретенообразная лобовая часть, с другой стороны — обтекатель типа «утиный нос» с двумя фокусами изменения кривизны поверхности. В результате опытов для серийного поезда серии 700 было выбрано очертание носовой части головных вагонов. При разработке проектов новейших высокоскоростных поездов Восточной японской железнодорожной компании серий E5 и E6 были построены опытные по-

а



б

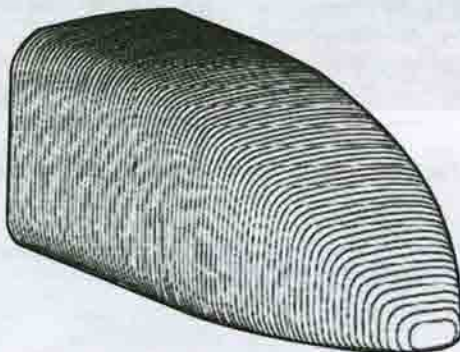
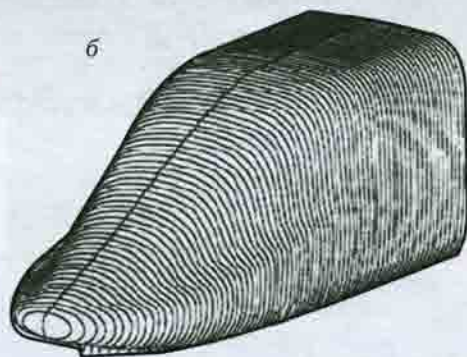


Рис. 3.13. Японский опытный высокоскоростной поезд 300X: а — головные вагоны с обтекателями: типа «утиный нос» (слева) и «веретено»; б — компьютерные модели головных обтекателей: типа «утиный нос» (слева) и «веретено»

езда «Fastech-360Z» и «Fastech-360S», имевшие также разные очертания носовых частей головных вагонов.

Интересно проследить эволюцию носовой части головных вагонов высокоскоростных поездов с 60-х годов прошлого века. Первый японский высокоскоростной серии 0, изготовленный в 1964 г., имел длину носовой части головного вагона менее трех метров, у высокоскоростного поезда серии 500 (1997 г.) она равняется 10 м (рис. 3.14); носовая оконечность опытного поезда «Мобильная испытательная платформа», созданного в 2012 г. китайской корпорацией CSR (Sifang Locomotive and Rolling Stock) при поддержке Министерства железных дорог КНР имеет длину более 12 м (рис. 3.15).

В последних конструкциях японских, французских, немецких, испанских, итальянских высокоскоростных поездов, наряду с выбором оптимальной аэродинами-

ческой конфигурации кузовов вагонов тщательно разрабатываются различные наружные элементы конструкции: межвагонные эластичные экраны, подвагонные обтекатели, токоприемники и др.

Значительных успехов добились в борьбе с шумом создатели последних моделей японских высокоскоростных поездов серий N700, E5, E6. Так, при скорости 320 км/ч уровень шума, производимого поездом серии E5 (введен в эксплуатацию в 2011 г.) не превышает тот, который генерируется поездом предыдущего поколения серии E2 на скорости 275 км/ч. Добиться этого позволили многочисленные конструктивные решения: оптимизация внешних обводов кузовов вагонов, применение звукопоглощающих панелей, которыми закрывают подвагонное пространство (рис. 3.16; 3.17), малошумящих токоприемников.

Для снижения уровня шума от качения колес по рельсу на высокоскоростных ма-

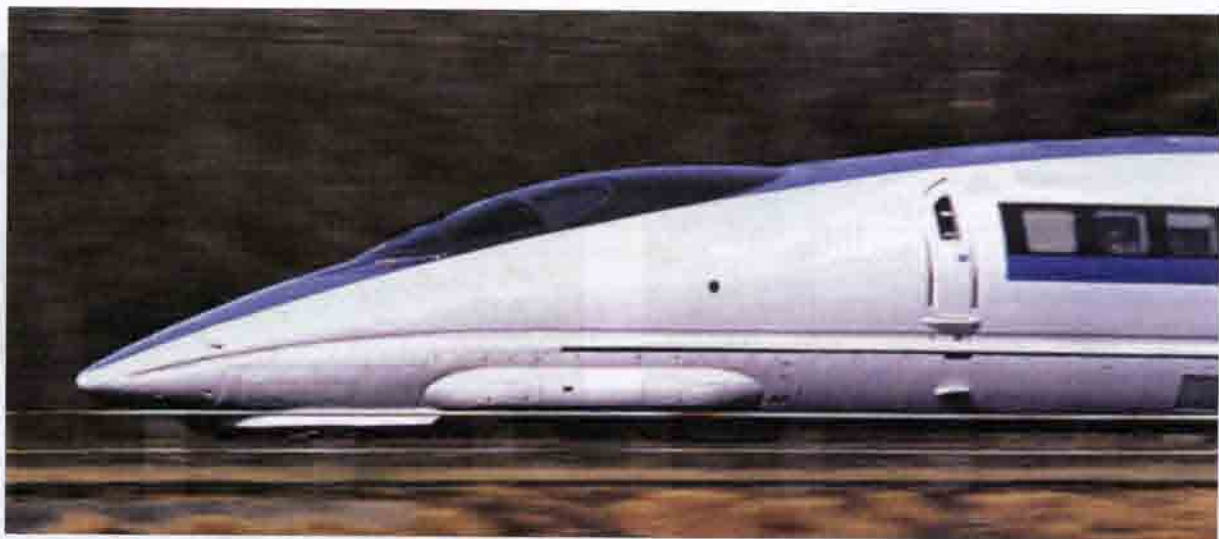


Рис. 3.14. Носовая часть головного вагона высокоскоростного поезда серии 500. Япония. 1998 г.



Рис. 3.15. Головной вагон опытного поезда «Мобильная испытательная платформа». КНР, 2012 г.

гистралях применяют комплексный метод: экранируют тележки вагона и устраивают звукозащитные ограждения на эстакадах и вдоль насыпей линии ВСМ. Как показано на рис. 3.18 шум от качения колеса по рельсу претерпевает многократное отражение и гасится звукопоглощающими экранами.

На высокоскоростных железнодорожных магистралях используются различные конструкции звукозащитных (звукоизолирующих) барьеров и экранов: от простейших —

плоских, изготовленных из бетона, стали, стекла, пластика, дерева, до весьма сложных конструкций (рис. 3.19). Принцип интерференционного ослабления звуковых волн используется и во французской конструкции звукоизолирующего барьера из бетона, который для непосвященного наблюдателя выглядит весьма странным сооружением в виде «повалившегося» забора (рис. 3.20). Как правило, простейшие конструкции звукоизолирующих барьеров со-



Рис. 3.16. Элементы конструкции поезда серии E5 для снижения шума. Япония. 2011 г.



Рис. 3.17. Аэродинамическое эластичное перекрытие зазора между вагонами высокоскоростного поезда серии N700. Япония. 2007 г.

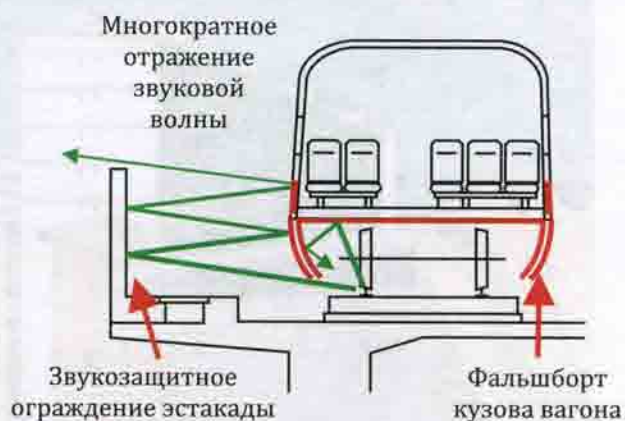


Рис. 3.18. Подавление шума качения колеса по рельсу с помощью комплекса мероприятий: экранирования тележки вагона и устройства звукозащитных ограждений эстакады



Рис. 3.19. Звукоизолирующий барьер на ВСМ «Юг». Нидерланды. 2008 г.



Рис. 3.20. Звукоизолирующий барьер на линии ВСМ. Франция. 1990 г.

стоят из двух экранов, изготовленных из стали, бетона или дерева. Наибольшее распространение для защиты от шума получили железобетонные экраны, обладающие высокой звукоизолирующей способностью. Все это позволило снизить уровень внешнего шума от высокоскоростных поездов, при повышении их скорости.

Для защиты от шума при сооружении ВСМ используются и традиционные способы, применение которых началось уже на первых железных дорогах: путь прокладывается в выемках, отгораживается зем-

ляным валом, прикрывается лесопосадками. В пригодных зонах городов проведение мероприятий по шумозащите часто совмещают с рекультивацией территории после строительных работ по сооружению ВСМ.

Все перечисленные меры позволяют на практике создавать высокоскоростные железнодорожные магистрали как «дружественные» к окружающей среде транспортные системы — именно так их сегодня определяют во многих развитых в техническом отношении странах.

Глава 4

Социально-экономические предпосылки и результаты сооружения высокоскоростных железных дорог

4.1. Основные социально-экономические факторы, определяющие спрос на высокоскоростные пассажирские перевозки¹

К основным факторам, определяющим спрос на высокоскоростные пассажирские перевозки, можно отнести:

- численность населения, тенденции ее изменения (чем больше численность населения, тем обширнее рынок пассажирских перевозок, включая сегмент высокоскоростных перевозок);

- развитие экономики страны и ее регионов, рост доходов населения;

- тенденция урбанизации населения (чем больше населения сосредоточено в городах, тем больше спрос на высокоскоростные железнодорожные перевозки);

- материальный уровень жизни населения (чем он выше, тем больше спрос на более дорогие высокоскоростные перевозки);

- уровень подвижности населения, основные направления пассажиропотоков;

- развитие туризма;

- развитие международных деловых связей.

В опубликованных зарубежных исследованиях, посвященных анализу эффективности осуществленных в разных странах

проектов высокоскоростных магистралей, констатируется, что транспортный коридор, предполагаемый для сооружения ВСМ, должен обладать определенными социально-экономическими характеристиками. Суммарное население зоны тяготения к данному коридору — хинтерланду², должно быть не менее 20—25 млн человек, общий суммарный пассажиропоток (в обоих направлениях), сложившийся в данном транспортном коридоре к моменту начала эксплуатации ВСМ, должен составлять не менее 10—12 млн пассажиров в год. Существенными факторами, определяющими успех проектов ВСМ, являются экономические показатели развития страны и конкретных территорий транспортных коридоров, а также материальное положение, уровень доходов и степень социального расслоения населения, проживающего в зоне тяготения ВСМ.

До 1991 г. объемы пассажирских перевозок в СССР неуклонно возрастали и темпы их роста превосходили демографические показатели увеличения населения страны. При этом самый большой пассажирский поток отмечался на направлении Центр — Юг (Ленинград — Москва — Крым и Кавказ). Этот факт был одним из определяющих в разработке первой программы создания ВСМ в стране и в, частности, проекта соору-

¹ В параграфе использованы материалы совместных публикаций авторов с С.А. Хрущевым и А.И. Чистобаевым.

² Этим термином обозначают зону социально-экономической деятельности, тяготеющую к данному транспортному коридору.

жения ВСМ, получившего наименование «Центр — Юг».

В период 1991—2004 гг. в России снизился объем перевозок всеми видами пассажирского транспорта. В стране возросла потребность в дешевых, менее скоростных и комфортных видах транспорта. Авиация — массовый вид пассажирского транспорта в советский период — стала малодоступной для большинства жителей страны. Стабилизация социально-политического положения и наметившийся рост экономики страны во второй половине 2000-х годов, улучшение материального положения граждан обеспечили рост подвижности населения, повышение спроса на скоростные и комфортные перевозки. В целом по стране наметилась тенденция увеличения числа поездок в год по железным дорогам, приходящихся на одного жителя.

Сопоставим социально-экономические условия в странах, успешно осуществивших проекты высокоскоростных железнодорожных магистралей. Большинство стран на момент строительства ВСМ имели значение такого важного экономического показателя как внутренний валовый продукт (ВВП) на душу населения (здесь приведен в долл. США по паритету покупательной способности в сопоставимых ценах на 2000 г.) на уровне выше 9—10 тыс. долларов США: Япония — 9; Испания — 13, Южная Корея (Республика Корея) — 17; Франция — 20; Италия — 22; Германия — 23.

В табл. 4.1 представлены значения внутреннего валового продукта (ВВП) на душу

населения в долл. США по паритету покупательной способности в последний докризисный 2008 г. в ряде стран, которые осуществляют проекты ВСМ.

Для того, чтобы связать воедино уровень ВВП (от него зависят инвестиционная возможность и платежеспособный спрос населения на высокоскоростные перевозки) и плотность населения (определяет величину пассажиропотока), используется индекс хозяйственного развития территории (I_R), предложенный географом и экономистом Д.И. Лопатниковым:

$$I_R = V/(P/S) \cdot 1/2,$$

где V — ВВП (ВРП) (млн долл. США); P — население, тыс. человек; S — площадь, тыс. км².

В целом, строительство ВСМ эффективно для регионов, у которых значение $I_R \geq 200$. Укажем для сравнения, что на момент начала эксплуатации первой ВСМ Токио — Осака (1964 г.) I_R Японии равнялся 215, ВСМ Париж — Юго-Восток во Франции (1981 г.) — 198, ВСМ Диреттиссима в Италии (1992 г.) — 317, ВСМ Мадрид — Севилья в Испании (1992 г.) — 123. Отметим также, что по прогнозам для транспортного коридора Санкт-Петербург — Москва этот индекс превысит значение 200 в 2012 — 2013 гг.

Таким образом, мировой опыт показывает, что организация высокоскоростного железнодорожного транспорта становится реальной при достаточно высоких показателях ВВП на душу населения, а, значит, и уровня потребления; при определенной плотности населения, но не обязательно в

Таблица 4.1

Показатели внутреннего валового продукта по паритету покупательной способности на душу населения в долл. США на 2008 г.

Страна	ВВП на душу населения по ППС, тыс. долл.	Страна	ВВП на душу населения по ППС, тыс. долл.
КНР	5,9	Франция	34,2
Российская Федерация	16,2	Финляндия	36,8
Республика Корея	11,6	Швеция	37,5
Испания	30,7	Япония	34,5
Тайвань	31,9	Бельгия	36,3
Италия	30,7	Великобритания	36,6
Германия	35,5	Норвегия	55,2

целом по стране, а, в пределах транспортных коридоров перспективных ВСМ и их хинтерландов. Таким условиям, например, отвечают проекты ВСМ в коридоре Рио-де-Жанейро — Сан-Паулу (население 50 млн чел., плотность 170 чел./км²), Мехико — Гвадалахара (население 28 млн чел., плотность 150 чел./км²), в Российской Федерации подобным условиям удовлетворяет транспортный коридор Санкт-Петербург — Москва.

Подводя итоги можно констатировать, что в настоящее время в России сложились необходимые условия для организации на ряде направлений высокоскоростного железнодорожного движения.

Однако отметим, что кроме необходимых условий для создания высокоскоростного железнодорожного транспорта требуются и достаточные условия, например, конкурентная среда, фискальная экономическая политика и т.д. В США, где проектов создания ВСМ было около десятка, специализированных высокоскоростных железнодорожных магистралей до сих пор нет¹ из-за автомобильного и авиационного лобби, субсидирования государством продажи населению бензина и топливного керосина авиакомпаниям.

Для транспортного коридора Санкт-Петербург — Москва выполнено сопоставление данных о пассажиропотоках с основными показателями экономического развития и прогнозными оценками. В обозримом будущем центральные функции Москвы обеспечат этому субъекту лидерство в производстве валового регионального продукта (ВРП) в абсолютном (не менее 20 % от Российской Федерации) и душевом исчислении (не менее чем в 2,5 раз больше, чем в целом по России). По производительности труда (душевому производству ВРП) Москва уступает четырем северным автономным округам², но так как она по-

требляет больше ВРП, чем производит, то многократный разрыв по доходам населения здесь также сохранится. Уже сейчас (2013 г.) среднемесячный доход москвичей превышает 1,3 тыс. долл. США, что почти вдвое больше значения показателя в среднем по стране. За счет высокой привлекательности для мигрантов вырастет доля Москвы в общей численности населения страны — до 8 % по среднему сценарию развития.

Транспортный коридор Москва — Санкт-Петербург уступает хинтерландам других перспективных направлений ВСМ по площади, численности и плотности населения, но он лидирует по производству ВРП (35,6 % от показателя всей Российской Федерации в 2008 г.), уровню доходов и душевого производства ВРП. Кроме того, конечные пункты коридора — это территории с самым высоким индексом хозяйственного освоения. Для всего хинтерланда его уровень достиг значений Испании на момент строительства там ВСМ, а в 2020 г. превысит современные показатели Франции.

По объединенному индексу хозяйственного освоения территории Санкт-Петербург и Ленинградская область ($I_R = 80$) превосходят многие регионы России. При этом Ленинградская область имеет самые высокие темпы прироста ВРП (этот показатель здесь удвоился за 1999—2004 гг.), а весь Санкт-Петербургский регион играет все большую роль в качестве транзитера грузопотоков из Российской Федерации в Западную Европу и из Западной Европы в Российскую Федерацию, а в перспективе и пассажиропотоков в Финляндию и Скандинавию и обратно.

Среди всех перспективных направлений ВСМ транспортный коридор Москва — Санкт-Петербург имеет самый большой годовой пассажиропоток, который по прогнозным оценкам вырастет к 2020 г. до 11,5 млн пассажиров (только железнодорожные и авиационные перевозки).

К концу второго десятилетия XXI в. транспортный коридор Санкт-Петербург — Москва исчерпает потенциал пропускной способности существующей железной дороги —

¹ Осуществлен лишь проект реконструкции существующей железной дороги в северо-восточном коридоре в пределах мегалополиса Бостон (Бостон — Нью-Йорк — Вашингтон), в котором поезда Acela достигают максимальной скорости 240 км/ч.

² Ненецкому, Ханты-Мансийскому, Ямало-Ненецкому и Чукотскому АО.

главного хода Октябрьской железной дороги. К этому времени будет достигнут такой уровень доходов и благосостояния населения двух столиц, который обеспечит устойчивый спрос на комфортные, безопасные при минимальном времени в пути перевозки высокоскоростным железнодорожным транспортом.

Строительство ВСМ Москва — Санкт-Петербург, создание высокоскоростной железнодорожной сети страны станет ускорителем социально-экономического развития важнейших «опорных регионов» Российской Федерации.

4.2. Взаимодействие и конкуренция отдельных видов транспорта в условиях открытого рынка транспортных услуг. Место высокоскоростных железных дорог на рынке пассажирских перевозок

Распределение пассажирских перевозок по видам транспорта происходит на рыночной основе в зависимости от стоимости поездки, времени в пути, географической доступности транспортной инфраструктуры и других факторов (рис. 4.1). В результате формируются сферы эффективного использования различных видов транспорта. На стыках этих сфер имеет место конкуренция между видами транспорта (межвидовая конкуренция), кроме того, существует внутривидовая конкуренция (т.е. конкуренция между отдельными компаниями, представляющими один и тот же вид транспорта).

Объемы пассажирских перевозок в нашей стране за последние 20 лет сократились вдвое, наиболее активный спад наблюдался с 2000 г. Сегмент междугородных и международных перевозок занимал в разные периоды 0,6—1,2 % рынка, причем с 1998 г. наблюдается устойчивая тенденция роста доли данного сегмента. Объем сегмента в



Рис. 4.1. Основные показатели сравнения видов транспорта

абсолютном выражении за рассматриваемый период сократился втрое (т.е. больше, чем рынок в целом), причем для него характерен обвал в 1992 г. с последующим плавным снижением до 1998 г. и стабилизацией в следующий период. Спад перевозок в 2009 г. может быть объяснен конъюнктурными причинами, т.е. последствиями мирового финансово-экономического кризиса.

Сопоставление динамики рынка пассажирских перевозок в целом и анализируемого сегмента показывает довольно четкую границу перелома тенденций в 1998—2000 гг.: рынок в целом после этого периода начинает сокращаться, а сегмент междугородных и международных перевозок, наоборот, стабилизируется с некоторой тенденцией к росту в отдельные периоды. Эта противоречивая на первый взгляд ситуация объясняется повышением уровня жизни населения на рубеже 1990-х и 2000-х годов.: в 1990-е годы спрос на дальние перевозки (а это самый дорогостоящий сегмент) резко упал вследствие снижения доходов населения, а спрос на внутригородские и пригородные перевозки (неэластичный по своей природе, т.е. слабо зависящий от цены поездки и доходов населения) стал значительно меньше. В 2000-е годы, с ростом доходов населения, с одной сто-

роны, стал расти парк частных легковых автомобилей, что привело к уменьшению спроса на городские и пригородные перевозки общественным транспортом, с другой стороны — стал увеличиваться платежеспособный спрос на междугородные и международные перевозки.

Анализируя структуру рассматриваемого сегмента за исследуемый период по видам транспорта, можно отметить, что максимальный спад наблюдается на внутреннем водном (в 15,7 раз), морском (в 6 раз) и автобусном транспорте (в 5,4 раза). На железнодорожном и воздушном транспорте спад был не столь значительным (соответственно — в 2,2 и 1,95 раза). При этом доля морского и внутреннего водного транспорта в сегменте незначительна (соответственно, 0,03 % и 0,4 % в 2009 г.).

Таким образом, наиболее крупными конкурентами в данном сегменте выступают автобусный, железнодорожный и воздушный транспорт. При этом важно учитывать, что с 1991 г. доля автобусного транспорта в сегменте сократилась с 65 до 44 %, доля железнодорожного увеличилась с 24 до 40 %, доля воздушного — с 8 до 15 %, т.е. почти вдвое. Соответственно, воздушный транспорт является наиболее существенным конкурентом железнодорожного в данном сегменте.

Основные преимущества и недостатки видов транспорта с позиции оценки потребителями и обществом, заключаются в следующем.

Железнодорожный транспорт.

Основные преимущества:

- возможность массовых перевозок пассажиров и высокая пропускная и провозная способность железнодорожных линий, исчисляемая десятками миллионов пассажиров в год в каждом направлении;
- регулярность перевозок независимо от климатических условий, времени года и суток;
- более высокая скорость движения поездов и, как правило, более короткий путь перевозки по сравнению с речным и морским транспортом;

— относительно невысокая себестоимость по сравнению с другими видами транспорта;

— высокая безопасность движения и низкий удельный уровень ущерба окружающей среде.

К недостаткам железнодорожного транспорта можно отнести:

— высокую стоимость сооружения железных дорог и относительно медленную отдачу авансируемого капитала;

— большой удельный вес условно-постоянных расходов в себестоимости перевозок (до 70 %), что ограничивает возможности гибкой тарифной политики.

Автомобильный транспорт.

Основные преимущества:

— высокая маневренность и подвижность, позволяющие быстро сосредотачивать транспортные средства в необходимом количестве и в нужном месте;

— способность доставки пассажиров от двери до двери, без дополнительных пересадок в пути следования;

— необходимость меньших капиталовложений по сравнению с железнодорожным транспортом при освоении малых пассажиропотоков на небольших расстояниях (при освоении крупных объемов перевозок эти вложения приближаются к стоимости железнодорожного строительства).

К недостаткам автомобильного транспорта следует отнести:

— высокую себестоимость перевозок (в десятки раз выше, чем на железнодорожном, водном и других видах транспорта);

— высокий уровень загрязнения окружающей среды (около 80 % загрязнений от всех видов транспорта);

— низкую безопасность движения и высокий уровень аварийности.

Морской транспорт.

Основные преимущества:

— возможность осуществления массовых, в том числе межконтинентальных, межбассейновых и внутрибассейновых (каботажных) перевозок пассажиров;

— неограниченная линейная провозная и пропускная способность;

— более низкая по сравнению с другими видами транспорта себестоимость перевозок на дальние расстояния и более высокая, чем на речном транспорте, скорость движения;

— меньший удельный расход топлива и затрат энергии на единицу перевозок, за счет меньшего удельного сопротивления движению, чем на сухопутных видах транспорта.

К недостаткам морского транспорта следует отнести:

— возможность обслуживания только территорий, имеющих выход к морским берегам;

— зависимость от метеорологических и климатических условий (от ветров, течений, штормов, продолжительности навигационного периода и т.п.);

— значительные капиталовложения в портовое хозяйство и транспортный флот.

Речной транспорт.

Основные преимущества:

— возможность массовых перевозок пассажиров в навигационный период;

— относительно невысокая себестоимость перевозок;

К недостаткам речного транспорта необходимо отнести:

— зависимость от географических особенностей размещения судоходных рек;

— нерегулярность работы в течение года и сезонная зависимость от климатических условий (большинство рек зимой замерзают, а навигационный период составляет 145—240 суток);

— меньшая по сравнению с железнодорожным и морским транспортом скорость, часто более протяженный путь следования, замедление скорости при шлюзовании.

Воздушный транспорт.

Основными преимуществами этого вида транспорта являются высокая скорость и малые сроки доставки пассажиров, что связано со спрямлением воздушных маршрутов, большой беспосадочной дальностью полета и высокой маневренностью.

К недостаткам воздушного транспорта можно отнести малую вместимость и высокую

себестоимость и соответственно стоимость перевозок (в несколько, а порой в десятки раз превышающую стоимость перевозки на других видах транспорта), а также расположение аэропортов за пределами городов.

Высокоскоростной железнодорожный транспорт имеет все преимущества обычного железнодорожного, кроме того, для него характерен более высокий уровень безопасности, что подтверждается более чем 40-летним периодом эксплуатации ВСМ в Японии и ряде европейских государств, а также — экологическая чистота (ниже удельное потребление топлива, выбросы загрязняющих веществ, занятие территории, шумовое загрязнение и т.д. См. гл. 3). Время поездки пассажира в скоростном железнодорожном транспорте сокращается в несколько раз. Недостатком высокоскоростных железнодорожных перевозок является их более высокая стоимость.

Указанные выше преимущества и недостатки видов транспорта находят отражение в определенных технико-экономических показателях, которые являются основой для определения эффективности и сфер рационального использования рассматриваемых способов перевозок. К таким показателям относятся: протяженность и густота транспортной сети; регулярность перевозок, скорость и сроки доставки; себестоимость и стоимость перевозки; качество обслуживания; надежность, безопасность, экологическая чистота; трудоемкость, капиталоемкость, энергоемкость и металлоемкость.

Далеко не все показатели в равной степени учитываются пассажирами. Пассажир (клиент) в условиях открытого и наполненного рынка товаров и услуг принимает для себя как важные только некоторые потребительские свойства транспортных систем: скорость, безопасность, комфорт, а также цену (тариф). Безусловно, есть члены общества, рассматривающие как важные для себя, например, и экологические критерии. Возможно формирование групп людей и социальных движений, которые

будут игнорировать, бойкотировать экологически грязные виды транспорта и транспортные средства, но это пока является исключением.

Потребительские свойства транспортной услуги содержат множество характеристик, среди которых для пассажира определяющими являются: скорость, безопасность, стоимость проезда, комфортность, частота отправления транспортных средств и соблюдение расписания; услуги, как обеспечивающие саму поездку (доступность информации о расписании, приобретение билетов и т.п.), так и предоставляемые в поездке.

1. Скорость (итоговая скорость доставки пассажира «от двери до двери») или время в пути.

2. Безопасность, как безаварийность, надежность и безотказность работы транспортной системы (англ.: safety), а также как результат охраны транспортной системы и личности пассажира (англ.: security), сохранности его багажа.

3. Цена (тариф): различные предложения в зависимости от социальной категории пассажиров; времени суток и дня поездки, и т.д.

4. Комфортность: психофизиологическая составляющая — плавность хода, непогашенные ускорения и т.д.; эргономическая и гигиеническая составляющие (обустройство пассажирских помещений подвижного состава, зданий вокзалов); психологические факторы¹.

5. Структура расписания, частота отправок, регулярность: удобное время отправления (прибытия) по дням недели и часам суток; интервалы между отправлениями; точность соблюдения расписания.

6. Услуги: необходимые и дополнительные услуги до начала поездки и во время поездки.

При сопоставлении видов транспорта пассажиров в практическом плане мало интересует *максимальная скорость* движе-

ния транспортного средства². Важнее *маршрутная скорость*, которая вычисляется как расстояние между пунктами отправления и прибытия, деленное на время в пути от начала движения до остановки в конечном пункте, включая все промежуточные остановки.

Экономические критерии анализа достоинств и недостатков того или иного вида транспорта справедливы для определенного уровня цены рабочего времени в обществе. Если цена рабочего времени низкая, транспортная ниша будет заполнена более дешевым, но менее скоростным и комфортабельным видом транспорта и наоборот. Чем выше уровень развития общества, чем выше цена рабочего времени и свободного времени, тем больше потребность в скоростных видах транспорта. Это было известно экономистам уже в середине XIX столетия.

Для пассажира наиболее существенный показатель скоростных характеристик того или иного вида транспорта — время, проведенное в поездке «от двери до двери». При оценке времени, затраченного на поездку за воображаемые «двери», от которых и до которых передвигается пассажир, часто принимается так называемая «зона равной доступности»³ населенного пункта для его жителей. Во многих населенных пунктах эта зона совпадает или близка к историческому центру (будем называть его «центром города»).

Время в поездке для разных видов транспорта складывается из ряда элементов:

— подъезда (подхода) в пункте отправления местным (городским) транспортом от центра города к вокзалу, аэропорту (при использовании индивидуального автотранспорта это время исключается из

² Иногда объявление максимальной скорости может даже стать фактором, отпугивающим пассажиров.

³ Понятие «зона равной доступности» — некая ограниченная территория, одинаково доступная для горожан, вычисляемая исходя из конфигурации городской территории и плотности расселения людей. Здесь, для упрощения, приняты за конечные точки центр (или исторический центр) каждого из двух населенных пунктов, между которыми совершается поездка, считая, что центральная часть города является точкой (зоной) равной доступности, одинаково удобной для усредненного горожанина.

¹ К этим факторам относятся «аэрофобия» — боязнь полетов, а также «транспортфобия» — боязнь передвижения на любых транспортных средствах. Для таких пассажиров полет в принципе связан с большим дискомфортом, вплоть до нервно-психологических расстройств.

расчетов для всей поездки, но добавляется время на выезд автотранспортом из центра города на магистральное шоссе);

- время, затраченное пассажиром на вокзале, в аэропорту на различные обязательные операции перед отправлением транспортного средства;

- в пути на основном виде транспорта по магистральной части маршрута;

- на операции между прибытием в пункт назначения и выходом из вокзала (аэропорта);

- подъезда (подхода) к центру города в пункте прибытия.

В качестве примера приведем формулу для вычисления общего времени в пути авиационным транспортом:

$$T_{\text{ав}} = t_{1 \text{ гор}} + t_{\text{рег}} + t_{\text{пос}} + t_{\text{техн}} + t_{\text{авмаг}} + t_{\text{техн}} + t_{\text{выс}} + t_{\text{баг}} + t_{2 \text{ гор}},$$

где $T_{\text{ав}}$ — полное время в пути авиационным транспортом; $t_{1 \text{ гор}}$, $t_{2 \text{ гор}}$ — время подъезда к аэропорту в пункте отправления и время в пути из аэропорта в центр города в пункте прибытия; $t_{\text{рег}}$ — время, затрачиваемое на регистрацию билета и багажа, и время на прохождение специального контроля в пункте отправления; $t_{\text{баг}}$ — время, затрачиваемое на получение багажа после выхода из самолета; $t_{\text{пос}}$, $t_{\text{выс}}$ — время посадки и высадки, включая время прохода от остановки городского транспорта к месту посадки и от места высадки до остановки городского транспорта; $t_{\text{техн}}$ — время технической подготовки воздушного судна к отправлению от момента завершения посадки до начала полета, включая передвижение (руление) по аэродрому в пункте отправления, и время от момента приземления в пункте прибытия до полной остановки, выключения двигателей и начала выхода пассажиров, включая время, затраченное воздушным судном на руление от взлетно-посадочной полосы до места стоянки; $t_{\text{авмаг}}$ — время в полете от взлета до посадки.

Общее время в пути при использовании железнодорожного транспорта:

$$T_{\text{жд}} = t_{1 \text{ гор}} + t_{\text{пос}} + t_{\text{контр}} + t_{\text{техн}} + t_{\text{жд маг}} + t_{\text{техн}} + t_{\text{выс}} + t_{2 \text{ гор}},$$

где $T_{\text{жд}}$ — общее время в пути железнодорожным транспортом; $t_{1 \text{ гор}}$, $t_{2 \text{ гор}}$ — время подъезда (подхода) к вокзалу в пункте отправления и время в пути от вокзала в центр города в пункте прибытия; $t_{\text{техн}}$ — время технической

подготовки транспортного средства к отправлению от момента завершения посадки до начала движения и время от момента полной остановки транспортного средства до начала выхода пассажиров; $t_{\text{пос}}$, $t_{\text{выс}}$ — время посадки и высадки, включая время прохода от остановки городского транспорта к месту посадки и от места высадки до остановки городского транспорта; $t_{\text{жд маг}}$ — время в пути по магистральной части линии.

В силу возникшей в мире террористической угрозы на железнодорожном транспорте и при перевозках автобусом также приходится добавлять время на проведение досмотра пассажира и багажа: $t_{\text{контр}}$ — время на проведение контроля (досмотра).

Если разделить расстояние от центра населенного пункта отправления до центра населенного пункта прибытия на общее время поездки, то получим *итоговую скорость доставки пассажиров*. Эта величина, почти не применяемая в расчетах и при анализе, полезна при сравнении скоростных характеристик различных видов транспорта.

Даже при высокой магистральной скорости транспортного средства, итоговая скорость доставки пассажиров может быть существенно уменьшена задержками на других этапах поездки: в пределах города для автомобильного или городского транспорта, ожидание разрешения на взлет самолетом в аэропорту отправления, багажные операции, процедуры специального контроля, паспортно-визовые и таможенные операции досмотра на границах в случае международных сообщений и т.п. Чрезвычайно показателен в этом плане положительный российско-финский опыт организации проведения пограничного паспортного и таможенного контроля пассажиров во время следования скоростных поездов «Аллегро» из Санкт-Петербург в Хельсинки и обратно, начавших курсировать в декабре 2010 г.

Можно говорить о том, что для достижения максимальной коммерческой скорости доставки пассажиров, помимо высокой маршрутной скорости, необходимо соблюдение *соответствия* всех транспортных и нетранспортных элементов, входящих в цепочку обеспечения доставки пассажира.

Исходя из достижения целей максимальной конкурентоспособности того или иного вида магистрального транспорта, необходимо организационно-техническое, технологическое и финансово-экономическое соответствие магистральной скорости транспорта всех указанных элементов транспортной цепочки. В противном случае капитальные вложения в создание (организацию) магистралей могут оказаться малоэффективными и даже бросовыми. Типичной подобной ситуацией является часто возникающее несоответствие высокой скорости воздушных судов и низкой эффективности работы служб аэропортов по выдаче багажа, плохая организация работы общественного транспорта на маршрутах между аэропортом и центром города.

Понятно, что чем больше расстояние передвижения магистральным транспортом, тем менее существенной становится «немагистральная» часть всего путешествия и весомее значение именно магистральной скорости. С другой стороны, для опре-

деленных расстояний между конечными пунктами, средняя коммерческая скорость доставки пассажиров будет в значительной степени зависеть от «немагистральных» составляющих.

На основе анализа отечественного и мирового опыта можно констатировать, что каждому виду транспорта соответствует определенная ниша (табл. 4.2, рис. 4.2). Так, автомобильный транспорт максимально привлекателен на расстояниях до 150—300 км (максимальная скорость движения 90—120 км/ч, обычный железнодорожный — до 300—400 км (до 160 км/ч), высокоскоростной — до 600—800 км (до 350 км/ч) и авиационный — более 800 км (800—900 км/ч). Именно при таких расстояниях и средних условиях состояния транспортных средств и путей сообщения будет достигнута наибольшая итоговая скорость доставки пассажиров.

Практика развитых стран показала, что высокоскоростной железнодорожный транспорт со скоростью движения до 300—

Таблица 4.2

Эффективные ниши некоторых магистральных видов транспорта

Вид транспорта	Дальность, км	Максимальная скорость, км/ч	Время в пути, часы
Автомобильный	150—300	90—120	2,5—3
Обычный железнодорожный, вагоны с местами для сидения	300—400 ¹	160 км/ч	2,5—3
Обычный железнодорожный, вагоны со спальными местами	700—900 ¹	160	7—8
Скоростной железнодорожный, вагоны с местами для сидения	400—500	200	2,5—3
Скоростной железнодорожный вагоны со спальными местами (предположительно)	До 1500	200	7—8
Высокоскоростной железнодорожный, вагоны с местами для сидения	600—700	350	2,5—3
Высокоскоростной железнодорожный, вагоны со спальными местами (предположительно)	2000—3000	350	7—8
Воздушный	Более 500	800—900	2,5—3 — комфортное, более — вынужденное

¹ Для Западной Европы (в условиях России, в силу больших расстояний, традиций, меньшего уровня доходов значительной части населения на ближайшие десятилетия протяженность подобных маршрутов больше в два-три раза).

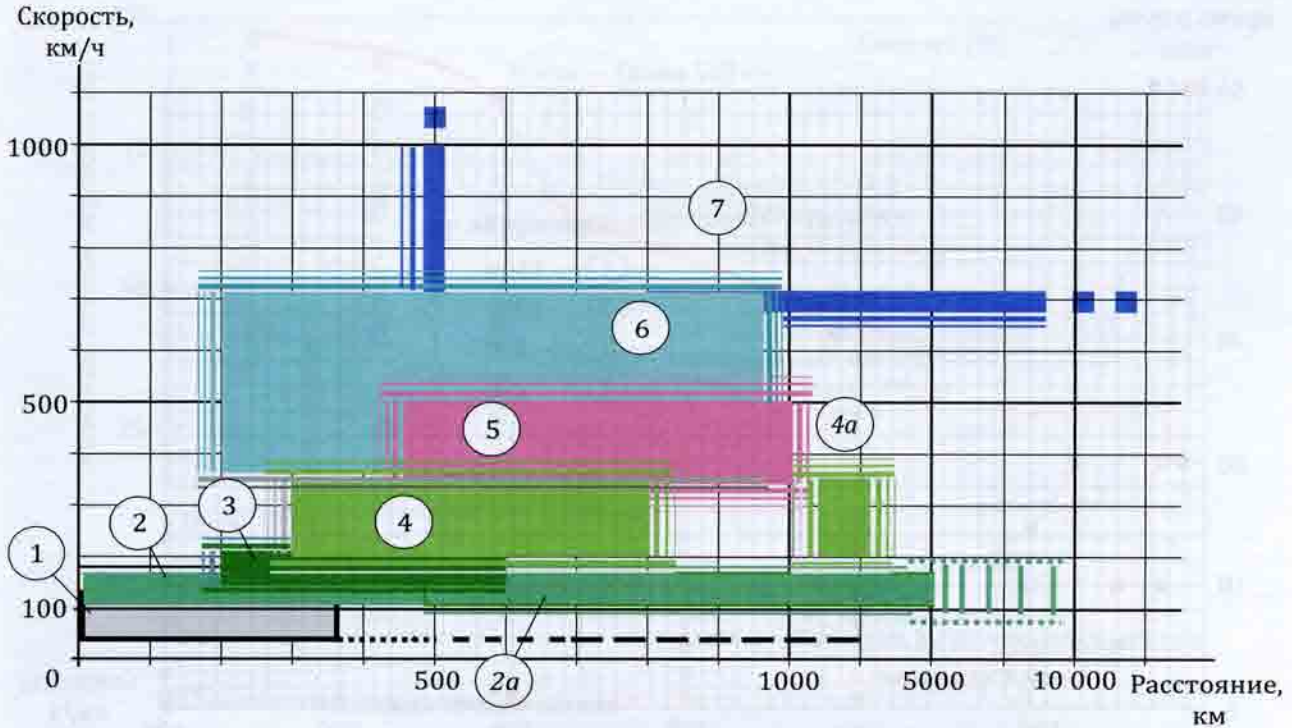


Рис. 4.2. Транспортные ниши пассажирских магистральных видов транспорта: 1 — автомобильный; 2 — обычный железнодорожный (вагоны с местами для сидения); 2a — обычный железнодорожный (спальные вагоны); 3 — скоростной железнодорожный (вагоны с местами для сидения); 4 — высокоскоростной железнодорожный (вагоны с местами для сидения); 4a — высокоскоростной железнодорожный (спальные вагоны); 5 — транспорт на магнитном подвешивании; 6 — малая авиация (самолеты, вертолеты); 7 — авиация

350 км/ч (вагоны с местами для сидения) имеет бесспорные преимущества по всему перечню характеристик в транспортных нишах протяженностью до 600—800 км.

Компании, сооружающие и эксплуатирующие ВСМ, решают дилемму выбора максимальной скорости движения поездов с учетом комплекса критериев. Верхний предел скорости устанавливается в соответствии с техническими возможностями, требованиями безопасности, экологическими условиями и допустимой величиной капитальных вложений и эксплуатационных затрат, что определяет экономические показатели проекта. Сегодня для большинства ВСМ, их стационарных устройств верхний предел скорости составляет 300 км/ч. Ряд ВСМ, сооруженных в последние годы и находящиеся в процессе строительства, запроектированы для максимальной скорости движения 350 км/ч. К ним относятся ВСМ Кёльн — Франкфурт-на-Майне (Германия),

Мадрид — Барселона (Испания), Восточная ВСМ (Франция), ряд новых ВСМ в КНР.

На графике (рис. 4.3) показана взаимосвязь времени в пути и скорости движения для маршрутов протяженностью 250, 500, 1000 и 1500 км. Для примера рассмотрим маршрут длиной 500 км. Из графика видно, что по мере увеличения скорости снижается относительное уменьшение времени в пути, а значит, с ростом скорости уменьшается приращение такого важного компонента ее потребительской стоимости, как итоговая скорость доставки пассажира. Так, при увеличении скорости с 50 до 100 км/ч время в пути сокращается вдвое: с 10 до 5 ч. Увеличение скорости со 100 до 200 км/ч также заметно сокращает время поездки: с 5 ч до 2 ч 30 мин. Однако, увеличение скорости с 350 до 400 км/ч сократит время в пути с 1 ч 25 мин до 1 ч 15 мин, т.е. всего лишь на 10 мин, что не является для подавляющего большинства пассажиров по-

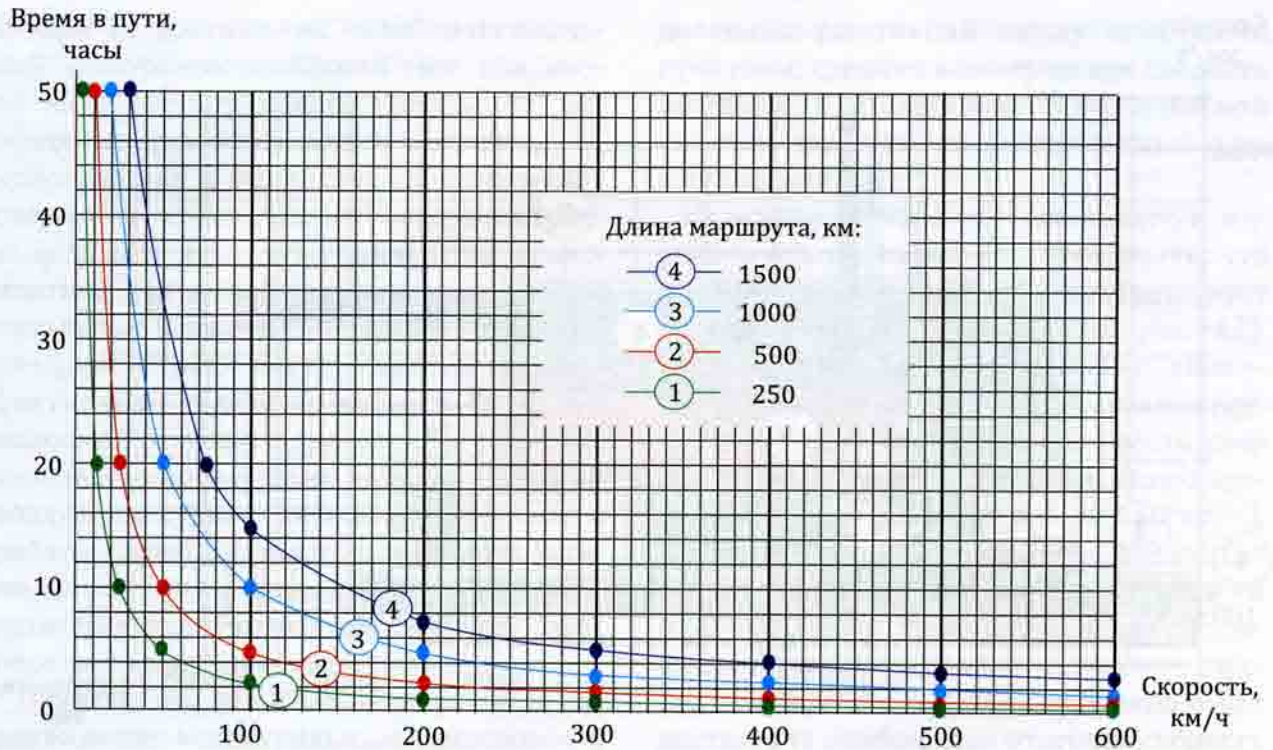


Рис. 4.3. Зависимость времени в пути от скорости и протяженности маршрута

казателем существенного улучшения транспортной услуги. Этот вывод подтвержден в ряде исследований ученых.

Однако при повышении скорости более 350 км/ч при стремящейся к нулю дельте уменьшения времени в пути возрастают капитальные затраты и эксплуатационные расходы, включая оплату энергии, а также суммарная эмиссия CO_2 и генерация шума при движении поездов. В 2012—2013 гг. в мире не реализуется и не проектируется ни одна ВСМ, обеспечивающая скорость движения более 350 км/ч. Помимо чисто экономических факторов играют роль и экологические соображения.

В последние годы в ряде научных центров Японии и европейских стран были проведены комплексные исследования, которые касались энергетических затрат на движение высокоскоростных поездов со скоростью 300—350 км/ч, их воздействия на окружающую среду в части шумов и вибраций, а также стоимости стационарных сооружений. В результате работ сделан вывод о том, что по крайней мере, на ближайшее десятилетие в коммерческой эксплуа-

тации на ВСМ верхний предел скорости ограничится величиной 350 км/ч. Дальнейшее ее увеличение возможно только на базе принципиально новых технических решений, которые, возможно, появятся в области создания более экономичного тягового привода и совершенных конструкций экипажной части вагонов и путевых структур, решающих проблемы шума и вибрации. Одним из самых острых остается вопрос токосяема на скорости более 350 км/ч, причем не только в части собственно передачи электроэнергии, а в связи с генерацией шума.

Таким образом, можно считать установленным с высокой степенью вероятности, что на ближайшие годы, если не на десятилетия, максимальная скорость 350 км/ч для ВСМ будет оптимальной¹. Это позволяет обеспечить величины маршрутной скорости на указанном расстоянии порядка 250—260 км/ч, соответствующие мировому уровню, и время в пути около 2 ч 30 мин.

¹ Относится и к конкурентоспособности транспортных систем на магнитном подвешивании.

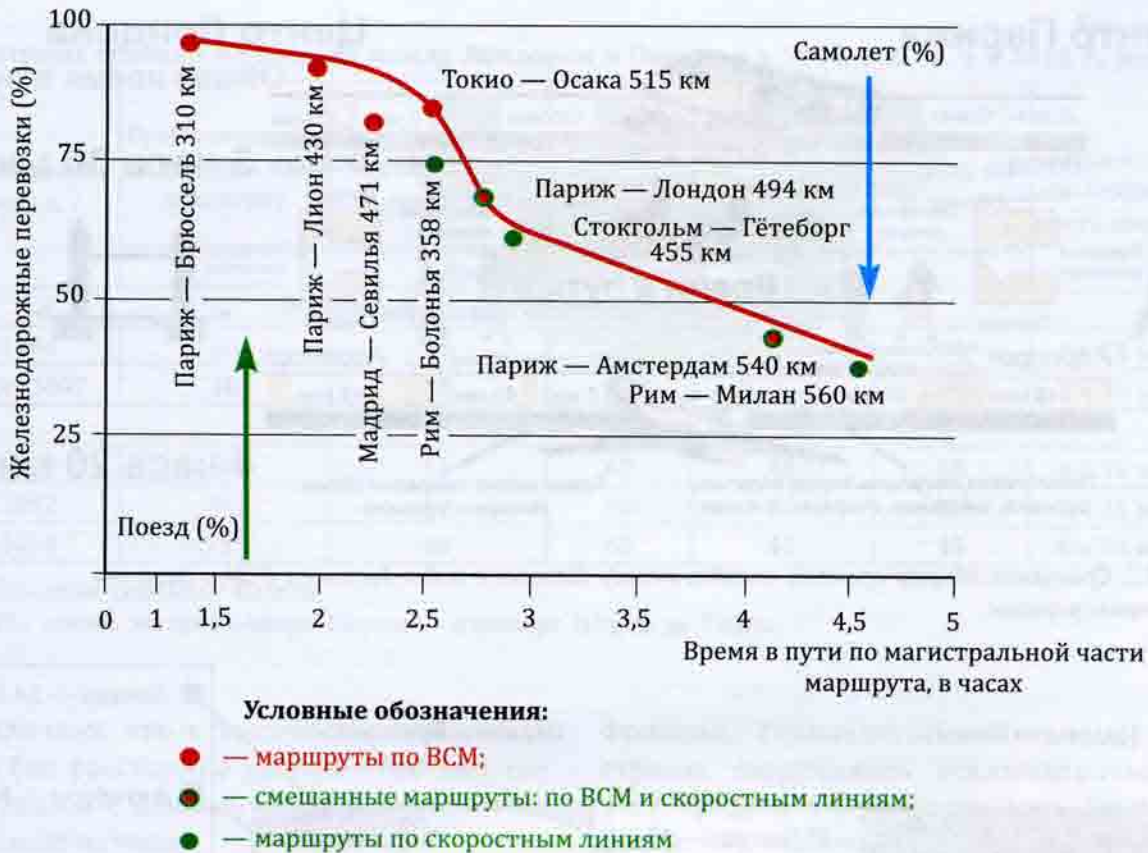


Рис. 4.4. Распределение пассажиропотоков между авиацией и железной дорогой на ряде популярных маршрутов

Опираясь на анализ организации высокоскоростного железнодорожного движения в мире, можно определить и нижний предел скорости на ВСМ, конкурентоспособных с авиацией в транспортных коридорах протяженностью до 600—700 км: не менее 250 км/ч, обеспечивающая время в пути не более 3 ч. Это подтверждает представленная на рис. 4.4 диаграмма, опубликованная МСЖД, где показано сложившиеся в мире распределения пассажиропотоков между авиационным и железнодорожным транспортом в нескольких транспортных коридорах протяженностью до 700 км.

Закономерность перехода пассажиров с авиационного на высокоскоростной железнодорожный транспорт, а также генерация дополнительного нового пассажиропотока за счет так называемого «эффекта притяжения скорости» подтверждается на всех эксплуатируемых ВСМ. Характерные примеры — сокращение времени в пути на

маршруте Париж — Лондон (рис. 4.5), Мадрид — Севилья, Париж — Брюссель и, как следствие, переход пассажиров с авиационного транспорта на железнодорожный (рис. 4.6).

При времени в пути по магистральной части маршрута до 2,5 ч более 75 % пассажиропотока приходится на ВСМ, при времени 3,5—4 ч пассажиропоток между поездами и самолетами распределяется примерно поровну, и при времени в пути более 4,5 ч более привлекательными для пассажиров становятся авиаперевозки. Можно определенно сказать, что время в пути 3,5 ч по магистральной части маршрута ВСМ является пограничным, разделяющим конкурентоспособные зоны высокоскоростных поездов и авиации на маршрутах протяженностью до 600—700 км. При 3—3,5 ч в пути и более для пассажиров привлекательнее авиаперевозки (табл. 4.3). Это означает, что величина участковой и маршрутной

Центр Парижа

Центр Лондона



Рис. 4.5. Сравнение общего времени поездки между Парижем и Лондоном по ВСМ и перелет авиатранспортом

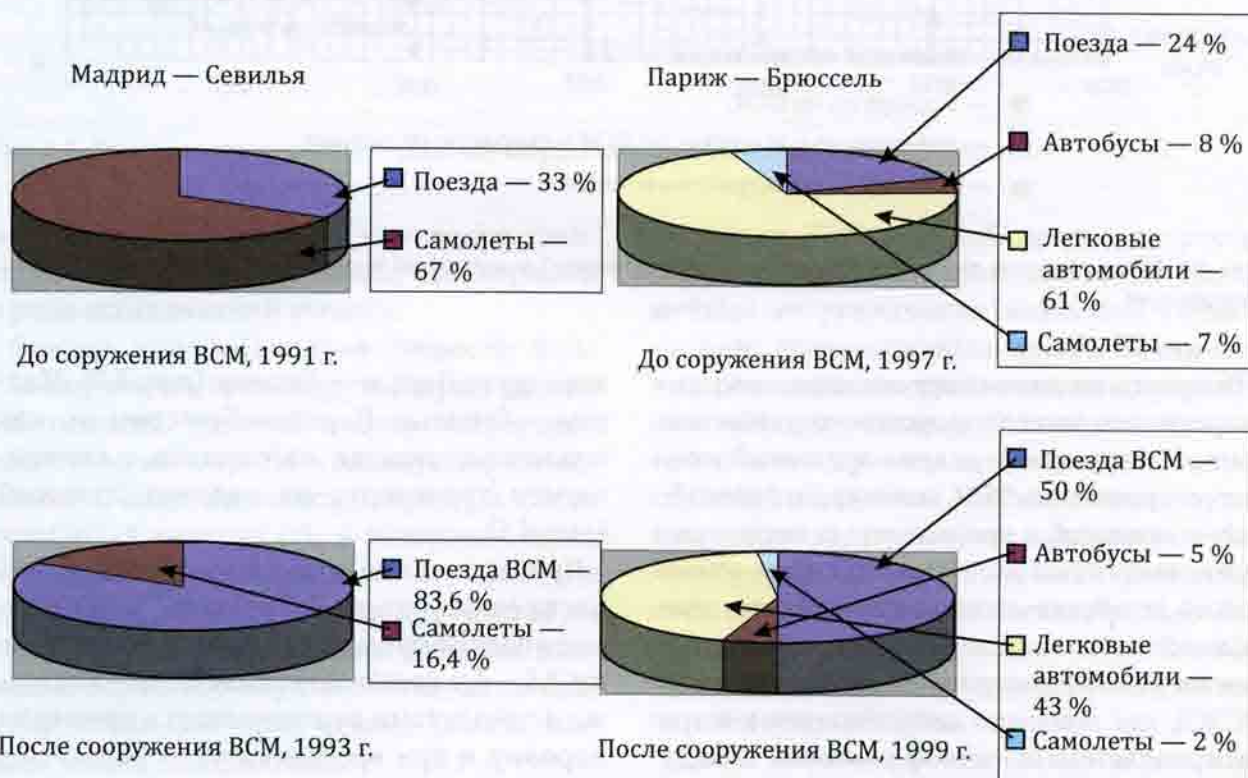


Рис. 4.6. Примеры перераспределения пассажиропотоков после открытия высокоскоростных железнодорожных магистралей на ряде маршрутов

скорости менее 200 км/ч делают ВСМ неконкурентоспособными по сравнению с авиацией. Однако зафиксированные скоростные преимущества высокоскоростного железнодорожного транспорта не являются раз и навсегда данными. На рынок авиа-

перевозок вышли так называемые «малобюджетные» или «дисконтные» авиакомпании, которые предлагают перевозки по значительно меньшим тарифам. Цены на билеты дисконтных авиакомпаний, действующих в Европе, как правило, на тех же на-

Таблица 4.3

Затраты времени на поездку между Лондоном и Парижем в 1994, 2007 г. и в 2012 г., мин.

Временной период, г.	Время подъезда к станции или аэропорту	Потери времени на станции или в аэропорту	Поездка/полет	Процедуры по прибытии, получение багажа	Проезд к месту назначения	Общая продолжительность поездки
	Время операции, мин.					
Железнодорожный транспорт (поезда Eurostar)						
1994	30	10	180	5	30	4 ч 15 мин
Дек. 2007	30	10	135	5	30	3 ч 30 мин
Воздушный транспорт						
1994	60	45	65	45	60	4 ч 35 мин
2007	60	60	65	45	45 ¹	4 ч 35 мин
2012	45 ²	60	65	45	45	4 ч 20 мин

¹ Поездом Heathrow Express.² По линии экспресс-метро Париж — аэропорт Шарль де-Голль.

правлениях, что и высокоскоростные поезда (на расстояние до 600—700 км), сопоставимы с ценами, установленными на ВСМ, или меньше.

4.3. Источники финансирования и механизмы реализации проектов ВСМ

Высокоскоростные железнодорожные магистрали являются очень дорогими инфраструктурными проектами, сумма необходимых затрат на реализацию которых сопоставима с размерами отдельных статей государственного бюджета. Так, по опубликованным сведениям общая стоимость реализации проекта будущей ВСМ Санкт-Петербург — Москва составит один триллион рублей. Первые ВСМ в Японии, Италии,

Франции, Германии, Испании и других странах сооружались исключительно за счет средств государственного бюджета (табл. 4.4). Реализация этих проектов была связана с большими финансово-экономическими, политическими проблемами и даже сопровождалась скандалами, о которых сегодня предпочитают не вспоминать. Прежде всего, необходимо отметить, что подобные проекты — автомагистрали, железные дороги, в том числе и ВСМ, в силу того, что являются очень протяженными линейными объектами, да еще стоимостью в миллиарды долларов (евро), затрагивают интересы сотен тысяч, а то и миллионов людей и поэтому всегда являются политическими. Особенностью сооружения ВСМ, также как, к примеру, и больших тоннелей и мостов, является то, что их невозможно строить небольшими фрагментами, постепенно наращивая мощность. В силу этого проекты ВСМ являются легко уязви-

Таблица 4.4

Мировые инвестиции в стационарные устройства и сооружения ВСМ по состоянию на 2005 г.

Эксплуатируемые ВСМ и важнейшие линии, реконструированные под скоростное движение	Длина, км	Сумма, млрд евро
	8570	170
ВСМ в процессе строительства	6240	109
Проектируемые ВСМ	3040	84

мыми для политической критики, поскольку в любой стране, в любом обществе всегда есть проблемы, которые, казалось бы, надо решать немедленно, а здесь громадные средства на длительный период строительства, по мнению многих обывателей, которым легко манипулируют политики, омертвляются на долгие годы в незавершенном строительстве. В условиях повышенного внимания общества к экологическим проблемам подобные протяженные линейные объекты также уязвимы с точки зрения критики экологических организаций, среди которых в последние десятилетия появились и экстремистские.

В силу политического характера подобных сверхкрупных инвестиционных проектов есть обязательное условие их реализации, подтвержденное всеми без исключения осуществленными проектами ВСМ: ответственность за их судьбу должны публично и недвусмысленно взять на себя первые лица государства, в условиях демократического общества — правящая партия.

Для того, чтобы получить представление о стоимости проектов ВСМ приведем следующие данные. В докладе МСЖД Восьмому всемирному конгрессу по высокоскоростному железнодорожному движению (июль 2012 г.) отмечалось, что усредненная цена строительства одного километра ВСМ в мире составляет 12—30 млн евро (табл. 4.5). Меньшая величина цены относится к ВСМ, сооружаемым в равнинной местности, большая — к высокоскоростным магистралям, которые прокладывают в горах или через сильно урбанизированные территории, когда возникает необходимость строительства большого числа мостов, тоннелей, путепроводов, viadуков.

Общая мировая цена всех осуществленных ВСМ (2005 г.) приведена в табл. 4.6, основные показатели для ряда европейских ВСМ, проложенных в первые годы XXI в. показаны в табл. 4.7.

Реализация проектов такого масштаба возможна при объединении усилий государства и частного капитала, т.е. на прин-

Таблица 4.5

Усредненная стоимость строительства мировых ВСМ в 2005 г.

Средняя стоимость одного километра ВСМ	Млн евро
Построенных до 2005 г.	19,8
Сооружаемых в 2005 г.	17,46
Проектируемых	27

Таблица 4.6

Общая мировая цена всех осуществленных проектов ВСМ по состоянию на 2005 г. (млрд евро)

Проектные работы и управление проектами	Затраты на реализацию проектов	
Мировые инвестиции в ВСМ (всего)		170
в том числе:	путевой комплекс (без искусственных сооружений)	30
	устройства электроснабжения	15
	устройства управления, обеспечения безопасности движения и сигнализации	20
	другие объекты	105
	подвижной состав	26

Основные показатели ряда европейских ВСМ

Страна	Наименование линии	Длина линии, км	Цена всего проекта, млн евро	Цена 1 км, млн евро	Год пуска	Источник информации ¹
Великобритания	Тоннель ² — Лондон, (1-й участок)	70	3008	43	2003	2001. 01. 61
	Тоннель ² — Лондон (2-й участок)	39	5225	134	2007	Там же
Италия	Рим — Неаполь	204	9500	46,6	2004	2002. 11. 694
	Болонья — Флоренция	78	7800	100	2007	Там же
	Милан — Болонья	182	11 000	60	2007	Там же
	Турин — Милан	125	5400	43,2	2007	Там же
Германия	Кёльн — Франкфурт-на-Майне	177	6000	34	2002	Там же
	Штутгарт — Ульм	65	4100	63	2011 (?)	2001. 03. 141
Нидерланды	Южная ВСМ	100	5300	53	2006-7	2002. 04. 194
Швейцария	Маттстеттен — Ротрист	45	972	21,4	2004	2020. 08. 397
Испания	Мадрид — Сеговия	76	1600	21	2007	2001. 07. 435
	Мадрид — Барселона — граница с Францией	796	7813	9,8	2007	Там же
Франция	ВСМ «Средиземноморье»	250	4100	16,3	2001	2001. 07. 449
Франция	Восточная ВСМ	300	3130	10,4	2007	2002. 03. 130
Бельгия	Луваин — Льеж	60	540	9	2002	2002. 10. 631

¹ Railway Gazette International (указаны: год издания, номер журнала и страница).

² Тоннель под Ла-Маншем.

циях так называемого «государственно-частного партнерства» (ГЧП).

Существует множество определений и трактовок понятия «государственно-частное партнерство». Наиболее общее определение следующее: государственно-частное партнерство — это институциональный и организационный альянс между государством и бизнесом в целях реализации общественно значимых проектов и программ в широком спектре отраслей промышленности и научно-исследовательских опытно-конструкторских разработок (НИОКР), вплоть до сферы услуг.

Взаимодействие власти и бизнеса в рамках ГЧП имеет равноправный характер, закрепляется юридически; в рамках такого взаимодействия объединяются ресурсы сторон, а риски распределяются в заранее оговоренных пропорциях. Наиболее распространенной формой ГЧП является концес-

сионное соглашение (концессия) — договор, по которому концедент (государство) передает концессионеру право на эксплуатацию природных ресурсов, объектов инфраструктуры, предприятий, получая взамен плату — одновременно или с определенной периодичностью. Достоинством концессий является их относительная дешевизна для государства. В то же время, такая форма сотрудничества сопряжена с определенными рисками как для государства, так и для концессионера. В рамках концессии концессионер заинтересован в интенсивной эксплуатации основных производственных фондов, результатом чего является их быстрый износ и необходимость для государства крупных инвестиций в их восстановление или обновление. С другой стороны, сумма платежей концессионера концеденту оговаривается договором, в то время, как доходность объекта

концессионного соглашения (например, железной дороги) трудно прогнозировать, так она зависит от множества факторов, включая структурные изменения в экономике, колебания экономической конъюнктуры и т.п.

Другой, новой формой ГЧП, является так называемый «контракт жизненного цикла» (КЖЦ). Данная форма предполагает формирование единого контракта с подрядчиком на предоставление сервиса доступной и качественной инфраструктуры в течение всего срока жизни объекта (проектирование, строительство, финансирование и содержание). КЖЦ не предполагает инвестирования государственных средств в магистраль. Проектирование, строительство и сдача объекта в эксплуатацию происходит за счет подрядчика, самостоятельно привлекающего заемные средства. После этого государство будет платить не за объект, а за сервис работающего объекта в течение всего его жизненного цикла, достигающего 20—30—40 лет (для объектов разной сложности и величины), используя простой принцип: «нет услуги — нет оплаты». Платежи государства подрядчику оговариваются в контракте и осуществляются ежегодно (либо с какой-либо иной периодичностью) при обязательном выполнении ряда функциональных критериев (для железной дороги к ним могут относиться: время в пути, доступность магистрали, количество опозданий, количество сбоев, аварий и т. п.). При снижении значений данных критериев по сравнению с оговоренными в контракте, сумма очередного платежа заказчика подрядчику снижается. При этом подрядчик располагает полной свободой в выборе строительных материалов, решений, методик и стандартов.

Для полноты анализа контракта жизненного цикла как одной из форм государственно-частного партнерства, уместно сопоставить его с другой, более привычной и традиционной формой ГЧП — концессией. Относясь к разновидностям контрактов государственно-частного партнерства, концессионные контракты и контракты

жизненного цикла применительно к транспортной сфере имеют между собой существенные различия. Концессионное соглашение стимулирует подрядчика к получению дополнительной прибыли за счет чрезмерно интенсивной эксплуатации объекта, превышения допустимого уровня износа основных производственных фондов. Контракт жизненного цикла стимулирует подрядчика к созданию надежной и качественной магистрали и к умеренной ее эксплуатации (за счет совмещения у одной организации функций проектирования, строительства и эксплуатации, а также за счет корректировки суммы платежей заказчика подрядчику в зависимости от достижения определенных показателей работы). Другое отличие заключается в том, что концессионное соглашение дает возможность дешевле построить железную дорогу, но в части ее эксплуатации концессионер, как правило, не обеспечивает должной эффективности из-за своего монопольного положения и отсутствия необходимых стимулов. Использование же механизмов контракта жизненного цикла обеспечивает эффективность как построения, так и эксплуатации железной дороги.

Использование схемы контракта жизненного цикла обеспечивает:

- четкую мотивацию подрядчика на создание высококачественной дороги в кратчайшие сроки с использованием самых современных технологий;
 - высокий уровень надежности возврата капитала для инвесторов;
 - максимальную экономическую эффективность для государства;
 - эффективное распределение рисков между заказчиком и подрядчиком.
- Применение КЖЦ дает следующие преимущества госзаказчику (концеденту):
- упрощение контракта и контроля его исполнения, что оборачивается, в частности, существенным снижением потребности в персонале, задействованном в приемке проекта, и избеганием нерационального расходования средств;
 - прозрачность системы в целом;

- существенное снижение стоимости объекта и его обслуживания (в некоторых случаях достигает 15—20 %);

- снижение технологических и проектных рисков;

- начало платежей подрядчику только после начала публичного использования объекта контракта.

Для подрядчика (концессионера) использование схемы КЖЦ дает следующие преимущества:

- стимулирование творческих решений, применения инновационных и ресурсосберегающих технологий;

- полная свобода выбора технологий, методов строительства, параметров качества и т.п.;

- повышение уровня квалификации — как технологической, так и экономической, возможность выхода на международный рынок контрактов жизненного цикла.

Кроме того, в ходе реализации проекта по схеме КЖЦ идеология взаимодействия заказчика и подрядчика меняется с антагонистической на кооперативную, поскольку оба партнера должны в течение длительного времени работать над реализацией одного и того же проекта.

Контракт жизненного цикла создает определенный уровень мотивации подрядчика к повышению эффективности работ:

- подрядчик заинтересован в быстром строительстве — чем раньше он закончит строительство объекта, тем быстрее начнет получать деньги;

- подрядчик стремится оптимизировать соотношение «цена/качество», так как если он будет строить плохо, ему придется больше тратить на ремонт;

- государственный заказчик стимулирует внедрение им новых технологий, снижающих стоимость строительства и/или увеличивающих долговечность объекта, так как вся экономия от использования современных технологий и правильного проектирования достается подрядчику;

- правильное формулирование условий контракта жизненного цикла позволяет проводить плановые мероприятия по содержа-

нию объекта максимально безболезненно для пользователей (например, ремонтировать пути в ночное время, для чего в контракте оговаривается возможность штрафовать подрядчика за отсутствие доступа к объекту в оговоренное время).

Для инвесторов КЖЦ дает четкую и понятную схему возврата платежей, гарантированную государством, что снижает для них риски финансирования проекта.

Для пассажиров схема КЖЦ обеспечивает быстрый ввод магистрали в эксплуатацию, высокое качество и надежность магистрали, снижение стоимости проезда.

Для государственного бюджета такая схема также является весьма эффективной, т.к. нет длительного временного промежутка между вложением средств и их отдачей (как было бы при прямом финансировании проекта со стороны государства).

Использование схемы контракта жизненного цикла стало распространяться за рубежом при реализации проектов ВСМ с начала 2000-х годов (см. табл. 4.7), сфера ее применения продолжает расширяться. К 2020 г. с использованием КЖЦ в Западной Европе предполагается построить 1165 км ВСМ (41 % от общей сети линий высокоскоростного движения).

Следует отметить, что при очевидной необходимости высокоскоростных железнодорожных магистралей для нашей страны, как с политической, социально-экономической точки зрения (укрепления связей между регионами, повышение качества транспортного обслуживания населения, сокращение времени поездок и др.), так и с технической и технологической точек зрения (возможность импорта технологий, создания новых производств и технических средств и др.), масштабность проектов, длительность их реализации, пионерный характер для условий России, порождают определенные риски для участников проекта. Основными из них являются следующие.

1. Риск неблагоприятной рыночной конъюнктуры, а следовательно — снижения доходов населения и спроса на пассажирские

перевозки. При этом в первую очередь будет сокращаться объем самого дорогого сегмента — высокоскоростных перевозок.

2. Риск изменения демографической структуры населения, т.е. если не будет преодолена тенденция снижения численности населения России, то будет возрастать процент пожилых граждан, в подавляющем большинстве своем не предъявляющих спрос на высокоскоростные перевозки.

3. Риск удорожания стоимости потребляемых материальных и энергетических ресурсов, потребляемых железнодорожным транспортом. За последние двадцать лет цены на топливо, электроэнергию, черные и цветные металлы росли значительно быстрее, чем грузовые и пассажирские тарифы. Ограниченность природных ресурсов делает в долгосрочной перспективе на них весьма возможным опережающий рост цен.

4. Риск усиления конкуренции с автомобильным и авиационным транспортом за междугородные перевозки пассажиров. Существует также риск разработки и внедрения на конкурирующих видах транспорта технических и технологических инноваций, существенно улучшающих их конкурентную позицию (в частности, снижение энергоемкости данных видов транспорта, повышение вместимости подвижного состава и т.п.).

5. Риск развития внутривидовой конкуренции. Создание ВСМ привлечет пассажиропоток не только с авиационного транспорта. Часть пользователей пассажирского железнодорожного транспорта переключатся на высокоскоростные поездки. Следовательно, в России неизбежна конкуренция между ОАО «Федеральная пассажирская компания», осуществляющим перевозки пассажиров в поездах дальнего следования, и той компанией, которая будет заниматься высокоскоростными перевозками.

6. Риск быстрого морального устаревания эксплуатируемой техники из-за ускорения научно-технического прогресса.

Эти и другие возможные риски должны быть выявлены, учтены и распределены между участниками проекта (заказчиком и

подрядчиком) на стадии подготовки условий контракта. При этом каждый из рисков должен быть возложен на наиболее подготовленную сторону. От определенности вопроса о рисках и их распределения будет зависеть успешность данного проекта (готовность инвестора к участию в проекте, техническая безопасность магистрали, эффективность деятельности заказчика и подрядчика), а также возможность дальнейшего применения КЖЦ при строительстве крупных инфраструктурных объектов.

4.4. Социально-экономическая эффективность сооружения высокоскоростных железных дорог

Основными социально-экономическими эффектами строительства ВСМ являются:

- сокращение времени пребывания пассажиров в пути;
- повышение безопасности перевозок;
- развитие и получение прибыли предприятиями и организациями сопутствующих отраслей: промышленности, строительства, сферы обслуживания, включая торговлю, туризм, гостиничный бизнес и т.д.;
- создание новых рабочих мест, рост доходов и повышение благосостояния населения;
- экологические эффекты за счет меньшего удельного потребления энергии, снижения выбросов вредных веществ в атмосферу и др.

Получаемые в результате любого инвестиционного проекта эффекты можно разделить на эффекты, достигаемые непосредственно при реализации проекта; мультипликативные¹ эффекты, получаемые в результате влияния прямых эффектов проекта на экономику страны.

Прямые эффекты, в свою очередь, разделяют на внутренние и внешние. Внутренние эффекты проекта ВСМ представляют собой денежные потоки для непосред-

¹ От лат. *multiplicatio* — умножение.

ственных его участников: инвесторов, строительных и промышленных компаний, операторов и др.

Внешние эффекты — социально-экономические эффекты от строительства и эксплуатации ВСМ для различных групп участников, прямо или косвенно имеющих отношение к проекту.

Мультипликативный эффект связан с тем, что различные экономические отрасли взаимосвязаны. Увеличение выпуска продукции в одной отрасли ведет к росту производства в других отраслях, что в свою очередь определяет подъем экономики в целом.

Основой для оценки эффективности инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте являются Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утвержденные Министерством экономики и Министерством финансов России в 1999 г. и Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте, утвержденные Министерством путей сообщения России в 1998 г.

Эффективность любого проекта определяется соотношением полезных результатов от реализации проекта и расходов, вызвавших эти результаты. При этом разделяют инвестиционные и текущие расходы.

Инвестиционные расходы определяются стоимостью сооружения или переустройства одного км пути ВСМ, включая спрямление профиля пути (при реконструкции линии), устройство балластной призмы, верхнего строения пути, другие постоянные устройства и пр. (C_{Π}), и длиной путей магистрали (L_{Π}):

$$I_{\Pi} = C_{\Pi} L_{\Pi},$$

а также стоимостью закупаемого подвижного состава (C_C) и его количеством (N_C):

$$I_C = C_C N_C.$$

Общая величина инвестиционных расходов составит:

$$I = I_{\Pi} + I_C + I_{\text{пр}},$$

где $I_{\text{пр}}$ — прочие инвестиционные расходы (строительство или реконструкция административных зданий и пр.).

Текущие (эксплуатационные) расходы (\mathcal{E}) состоят из следующих элементов:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{от}} + AO + \mathcal{E}_{\text{эр}} + \mathcal{E}_{\text{пр}} + \mathcal{E}_{\text{и}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{от}}$ — затраты на оплату труда, руб.:

$$\mathcal{E}_{\text{от}} = \sum_{i=1}^n \chi_i T_i \cdot 12 \cdot \left(1 + \frac{\Pi}{100}\right) \left(1 + \frac{H_{\text{ЕЧН}}}{100}\right),$$

где χ_i — численность работников i -й категории, чел.; T_i — среднемесячная заработная плата работника i -й категории, руб.; Π — премии, в процентах от среднемесячной заработной платы; $H_{\text{ЕЧН}}$ — ставка единого социального налога, %;

AO — амортизационные отчисления, определяются линейным способом:

$$AO = \sum_{j=1}^m \frac{I_{\Pi j}}{T_{\Pi j}} + \frac{I_C}{T_C},$$

где $I_{\Pi j}$ — стоимость j -го вида постоянных устройств, руб.; $T_{\Pi j}$ — срок эксплуатации j -го вида постоянных устройств, лет; T_C — срок эксплуатации пассажирского подвижного состава, лет;

$\mathcal{E}_{\text{эр}}$ — эксплуатационные расходы на содержание и обслуживание подвижного состава и постоянных устройств, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{пр}}$ — расходы на оказание прочих услуг, руб.

$\mathcal{E}_{\text{и}}$ — расходы, связанные с движением поездов, определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{и}} = \mathcal{E}_{\text{дв}} + \mathcal{E}_{\text{т}} + \mathcal{E}_{\text{ост}} + \mathcal{E}_{\text{ст}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{дв}}$ — расходы, связанные с движением поездов, определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{дв}} = 365 Nl \cdot e_{Nl},$$

где Nl — поездо-километры, пройденные за сутки; e_{Nl} — стоимость 1 поездо-километра, руб.

Расходы на тягу поездов ($\mathcal{E}_{\text{т}}$), определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{т}} = 365 M t_{\text{т}} \cdot e_{M t_{\text{т}}},$$

где $M t_{\text{т}}$ — локомотиво-часы тяги; $e_{M t_{\text{т}}}$ — стоимость 1 локомотиво-часа тяги.

Расходы по остановке поезда ($\mathcal{E}_{\text{ОСТ}}$) определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ОСТ}} = 365 N_{\text{ОСТ}} \cdot e_{\text{ОСТ}},$$

где $N_{\text{ОСТ}}$ — количество остановок поездов; $e_{\text{ОСТ}}$ — стоимость одной остановки пассажирского поезда на электрической тяге, руб.

Расходы на стоянку поездов в пути следования ($\mathcal{E}_{\text{СТ}}$) определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{СТ}} = 365 N t_{\text{СТ}} \cdot e_{Nt},$$

где $N t_{\text{СТ}}$ — поездо-часы стоянки; e_{Nt} — стоимость 1 поездо-часа стоянки.

Доходная часть проекта будет формироваться за счет продажи билетов:

$$D = (N_{\text{БК}} \Pi_{\text{БК}} d_{\text{БК}} + N_{\text{ЭК}} \Pi_{\text{ЭК}} d_{\text{ЭК}}) N_{\text{П}} \cdot 365,$$

где $N_{\text{БК}}$, $N_{\text{ЭК}}$ — число мест, соответственно, бизнес-класса и эконом-класса в одном составе; $\Pi_{\text{БК}}$, $\Pi_{\text{ЭК}}$ — цена 1 билета, соответственно, бизнес-класса и эконом-класса, руб.; $d_{\text{БК}}$, $d_{\text{ЭК}}$ — прогнозируемая доля заполнения мест, соответственно, бизнес-класса и эконом-класса; $N_{\text{П}}$ — число поездов в сутки.

Кроме того, при финансировании проекта по схеме контракта жизненного цикла, доходная часть увеличивается за счет регулярных платежей со стороны государства за сервис работающей железной дороги.

Приведение затрат и результатов, возникающих на протяжении всего времени реализации проекта, к начальному моменту времени осуществляется умножением их на коэффициент дисконтирования (приведения) α_t , определяемый для постоянной в течение расчетного периода нормы дисконта E по формуле:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+E)^t},$$

где t — номер шага расчета ($t = 0, 1, 2, \dots, T$).

При принятой норме дисконта E **чистый дисконтированный доход** (ЧДД) определяется как сумма эффектов (разниц между результатами и затратами) за весь расчетный период, приведенных к начальному шагу, или как превышение интегральных результатов над интегральными затрата-

ми. Если норма дисконта постоянна, величина ЧДД определяется по формуле:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (D_t - I_t - \mathcal{E}_t) \frac{1}{(1+E)^t},$$

где D_t , I_t , \mathcal{E}_t — доходы, инвестиционные и текущие расходы, возникающие на t -ом шаге расчета.

Чем больше ЧДД, тем эффективнее проект. При ЧДД < 0 оцениваемое предприятие заведомо неэффективно.

Допускается использование показателя не дисконтированного чистого дохода (ЧД) на стадии предварительной оценки эффективности мероприятия. Он определяется по формуле:

$$\text{ЧД} = \sum_{t=0}^T (D_t - I_t - \mathcal{E}_t).$$

Надо иметь в виду, что величина ЧД получается завышенной по сравнению с ЧДД.

Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{D_t - \mathcal{E}_t}{(1+E)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{I_t}{(1+E)^t}}.$$

При положительных значениях ИД эффективнее тот проект, у которого величина ИД больше.

Срок окупаемости инвестиций ($T_{\text{ок}}$) — это период времени, за пределами которого интегральный эффект становится неотрицательным. Он определяется исходя из равенства:

$$\sum_{t=1}^T \frac{D_t - \mathcal{E}_t}{(1+E)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{I_t}{(1+E)^t} \quad (*)$$

Значение $T_{\text{ок}}$ можно получить путем сопоставления сумм (нарастающим итогом) дисконтированных величин $(D_t - \mathcal{E}_t)$ и I_t по годам расчетного периода.

Внутренняя норма доходности (ВНД) представляет собой норму дисконта E_g , при которой величина ЧДД проекта обращается в нуль (сумма приведенных эффектов

равна приведенным капиталовложениям). Значение ВНД находится исходя из уравнения (*). Значение ВНД следует рассматривать как ориентир для определения верхнего предела нормы дисконта. При этом надо иметь в виду, что могут быть случаи, когда ВНД отсутствует или имеет несколько значений.

Как отмечалось ранее, при реализации проектов ВСМ эффект будет получать не только компания, осуществляющая строительство и эксплуатацию магистралей. Существенный эффект будут получать и пассажиры. Социальный эффект будет образовываться за счет следующих факторов.

1. Сокращение времени поездки. Данный результат возникает не только по сравнению с поездкой обычным дальним поездом или автомобилем, но, что было показано ранее, как правило, и по сравнению с авиаперелетом. Выигрыш во времени определяется по формуле:

$$\Delta T = T_{AB} - T_{ВСМ} = \frac{L_{AB}}{V_{AB}} + T_{ОЖ} + T_{П1} + T_{П2} - \frac{L_{ВСМ}}{V_{ВСМ}},$$

где T_{AB} — время перемещения пассажира из пункта отправления в пункт назначения с использованием авиации, ч; $T_{ВСМ}$ — время аналогичной поездки высокоскоростным транспортом, ч; L_{AB} , $L_{ВСМ}$ — расстояние авиаперелета и поездки на ВСМ, км; V_{AB} , $V_{ВСМ}$ — скорость движения самолета и скоростного поезда, соответственно, км/ч; $T_{ОЖ}$ — время ожидания рейса в аэропорту, ч; $T_{П1}$, $T_{П2}$ — время поездки пассажира из города в аэропорт отправления и из аэропорта прибытия в город, ч.

Для направления Москва — Санкт-Петербург выигрыш во времени для ВСМ по сравнению с авиацией составляет 2—3 часа (без учета затрудненного проезда — пробок на дорогах между городом и аэропортом).

Предельная дальность поездки, при которой поездка на ВСМ будет давать выигрыш во времени по сравнению с авиаперелетом, определяется по формуле:

$$L = \frac{T_{ОЖ} + T_{П1} + T_{П2}}{\left(\frac{1}{V_{ВСМ}} - \frac{1}{V_{AB}} \right)}.$$

Расчет показывает, что на расстояниях до 1—1,5 тыс. км высокоскоростной железнодорожный транспорт дает выигрыш во времени, на больших расстояниях быстрее оказывается авиаперелет.

2. Более высокий уровень безопасности железнодорожного транспорта по сравнению с воздушным и автомобильным транспортом, т.е. меньшая вероятность событий, связанных с нарушением безопасности. Переход части пассажиров на ВСМ приводит к снижению смертности относительно данной категории пассажиров.

3. Самый ощутимый социальный результат высокоскоростного движения заключается в эффекте «притяжения скорости» и как следствие — в увеличении подвижности населения. Сокращение времени в пути, повышение комфортности поездки на тех или иных маршрутах привлекает новых пассажиров, индуцирует дополнительный пассажиропоток. По оценкам экспертов величина его составляет в среднем 5—13 %. Под индуцированным понимается вновь образовавшийся пассажиропоток, а не та часть, которая перешла на ВСМ после ее открытия с автомобильного, авиационного транспорта или обычных поездов.

4. Увеличение количества высокооплачиваемых рабочих мест как непосредственно в транспортной сфере, так и в сфере обслуживания, туризме, рекреационной деятельности.

5. Повышается надежность транспортных пассажирских перевозок на данном направлении для пассажиров, пользующихся услугами ВСМ. Под надежностью в данном случае понимается вероятность прибытия в пункт назначения точно по времени, указанному в расписании движения поезда. Повышение надежности перевозок приводит к снижению запаса времени, которое пассажир планирует провести в пути в случае за-

держки / опоздания транспортного средства. Оценить количественно данный социальный эффект представляется невозможным.

6. Строительство ВСМ, например, Москва — Санкт-Петербург, приведет к высвобождению перевозочных мощностей и снижению нагрузки на Октябрьскую железную дорогу, что может привести к повышению транспортной доступности населенных пунктов, расположенных вдоль существующего главного хода железнодорожной линии Санкт-Петербург — Москва за счет увеличения интенсивности прохождения обычных дальних и пригородных электропоездов.

Экономические эффекты от внедрения ВСМ проявляются в следующем.

1. Увеличивается загрузка производственных мощностей строительных и промышленных предприятий, растут прибыли предприятий за счет роста производства, связанного с обеспечением сооружаемой ВСМ строительными машинами и механизмами, автотранспортом, металлопродукцией и другими строительными материалами, конструкциями, комплектующими изделиями, горюче-смазочными материалами и электроэнергией.

2. В результате создания новых рабочих мест и снижения уровня безработицы расходы государства на содействие занятости населения снизятся.

3. Создание ВСМ повышает туристическую и рекреационную привлекательность городов и местности в целом на маршруте магистрали, что приводит к увеличению доходов туристической индустрии, предприятий сферы обслуживания, торговли.

4. Активизация научно-технического прогресса при строительстве высокоскоростных линий, так как проекты ВСМ являются высокотехнологичными и наукоемкими. Решение технических и технологических задач в процессе реализации требует творческого поиска, привлечения новых научных сил, что расширит возможности само-

реализации многих научных работников и инженеров, которые еще не востребованы в стране, ищут применения своих знаний за ее пределами. Такой эффект трудно оценить в рублях; он о себе заявит только спустя годы, многократно перекрыв те затраты, которые будут вложены в ВСМ.

В рамках анализа социально-экономической эффективности строительства ВСМ Москва — Санкт-Петербург были, в том числе, оценены следующие социально-экономические эффекты:

- дополнительная прибыль предприятий отраслей промышленности, строительства, производителей электроэнергии, формирующаяся в период реализации проекта — 113 млрд руб.;

- эффект от сокращения времени в пути — 234 млрд руб.;

- рост доходов населения вследствие создания новых рабочих мест — 134 млрд руб.;

- эффект от повышения безопасности перевозок — 6,4 млрд руб.

Эффект для ОАО «РЖД» будет заключаться в высвобождении пропускной способности на направлениях с параллельными высокоскоростными магистралями. Так, ход социально-экономического развития Северо-Западного региона России в последние несколько лет подтверждает вывод о том, что в транспортном коридоре Санкт-Петербург — Москва фактически не имеется резервов провозной способности. Между тем, рост промышленного производства, увеличение экспортно-импортных поставок через реконструируемые существующие и новые российские порты на Балтике невозможны без кардинального улучшения транспортных связей. Кроме того, высвободится часть подвижного состава для использования на других железнодорожных направлениях, где сегодня ощущается его дефицит.

Проекты создания ВСМ эффективны для бюджетов различных уровней. Бюджетная эффективность формируется как за счет

налоговых поступлений от компании, осуществляющей эксплуатацию магистралей, так и за счет повышения деловой активности в регионах, затрагиваемых высокоскоростным движением (что также ведет к росту налоговых поступлений). Наконец,

наиболее трудно вычисляемым но, пожалуй, одним из важнейших, является геополитический эффект от строительства ВСМ, который заключается в укреплении связей между регионами нашей страны и, в конечном счете, в ее единении.

Глава 5

Основы проектирования высокоскоростных железных дорог

5.1. Основные концептуальные подходы к созданию высокоскоростных железнодорожных магистралей

Организация высокоскоростного движения пассажирских поездов на железных дорогах мира шла параллельно двумя путями (оба требуют создания высокоскоростного подвижного состава):

- строительство новых высокоскоростных специализированных магистралей (ВСМ) для движения пассажирских поездов;
- модернизация действующих магистралей для обеспечения высокоскоростного движения пассажирских поездов, в некоторых случаях с ограниченным движением обычных, скоростных пассажирских и грузовых, как правило, ускоренных поездов.

ВСМ начали сооружать в Японии (первая линия открыта в 1964 г.), затем во Франции и других странах Западной Европы (Италия, Испания, Германия, Бельгия, Голландия), а позже — в Республике Корея, на Тайване, в КНР, Турции и ряде других стран. В варианте организации высокоскоростного движения на вновь построенных линиях следует различать два подварианта: японо-испанский, появление которого было обусловлено разницей в ширине колеи на ВСМ и на остальной сети железных дорог, и французский, где ВСМ и основная сеть

железных дорог страны имеют одинаковую колею.

Организация высокоскоростного движения на модернизированных действующих линиях со смешанным движением характерна для Германии, но используется также в Англии, Италии, Бельгии, Голландии, Швейцарии, России и других странах. Однако и в этих странах в последние годы строят специализированные ВСМ. Смешанная эксплуатация высокоскоростных и других категорий поездов затруднена, в частности из-за разных требований к плану и профилю линий для грузовых и пассажирских поездов. В КНР на протяжении последнего десятилетия активно реализуются обе схемы развития высокоскоростного железнодорожного движения.

С некоторой долей приближения сегодня можно выделить три основных концептуальных подхода к инфраструктуре и организации высокоскоростного движения (табл. 5.1). Японская и испанская концепции предусматривают сооружение ВСМ, путевая (рельсовая) система которой независима от остальной железнодорожной сети страны. Во Франции предполагается строительство новых ВСМ, входящих в общий состав сети, но предназначенных только для высокоскоростного подвижного состава. Итальянская и германская концепции предусматривают комплексную реконструкцию железнодорожных направлений, при

Таблица 5.1

Основные концептуальные подходы к организации высокоскоростного движения

Условное наименование модели ВСМ	Пути ВСМ	Сеть ВСМ	Характер линий ВСМ	Станции ВСМ
Японо-испанская	ВСМ создаются с использованием колеи 1435 мм, отличной от колеи общей железнодорожной сети страны	Линии ВСМ отделены от остальной сети железных дорог	Относительно протяженные отдельные магистрали	Строятся новые станции или новые пути ВСМ вводятся на существующие реконструированные вокзалы
Французская	ВСМ создаются с использованием той же колеи, что и основная железнодорожная сеть страны (1435 мм)	Линии ВСМ объединены с остальной сетью железных дорог страны		Как правило, используются существующие станции, связанные с ВСМ соединительными линиями
Итальяно-германская			Относительно короткие участки ВСМ, в общих скоростных коридорах	

которой осуществляется строительство высокоскоростных участков и одновременно модернизация существующих линий со спрямлением главных путей с целью организации скоростного и высокоскоростного движения. На всех эксплуатирующихся в настоящее время ВСМ принята нормальная (стефенсоновская) колея шириной 1435 мм.

Основные требования к высокоскоростным магистралям в целом и к их отдельным техническим устройствам определяются задачами осуществления массовых перевозок пассажиров. При проектировании, строительстве и эксплуатации ВСМ необходимо обеспечить ряд требований: безопасность, комфортабельность и максимальную комфортность проезда; потребную пропускную способность магистрали на заданную перспективу; движение поездов с установленной проектом скоростью; жизнеспособность магистрали, в том числе, в чрезвычайных ситуациях; минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду; экономическую эффективность принятых инженерных решений. Все это создает благоприятные условия для привлечения пассажиров в конкурентном взаимодействии с другими видами транспорта.

Развитие высокоскоростных магистралей отдельных европейских стран, а затем со-

здание общеевропейской высокоскоростной железнодорожной сети, поставили вопрос о совместимости технических устройств отдельных национальных ВСМ между собой (подвижного состава и стационарных устройств). Эта проблема возникла еще в конце XIX в., когда зарождалось прямое железнодорожное сообщение между различными странами. Необходимо было принять общеевропейские стандарты на габариты подвижного состава, нормы осевой нагрузки, конструкции колесных пар, тормозные системы и устройства электроснабжения. Однако тогда вопрос не стоял так остро в связи с тем, что объем международных железнодорожных перевозок по сравнению с внутренними был незначительным.

С возникновением идеи межгосударственных высокоскоростных магистралей пришлось вернуться к вопросам технической совместимости или, как говорят в последнее время, гармонизации технических средств. Речь идет о ширине колеи, системах электроснабжения, габаритах подвижного состава и приближения строений, устройствах управления и обеспечения безопасности движения и других компонентах инфраструктуры. Например, ширина железнодорожной колеи в Испании и Португалии равна 1668 мм, в других европейских странах — 1435 мм, в России и странах

бывшего СССР — 1520 мм, в Финляндии — 1524 мм. Различны и системы электрификации железных дорог. Так, во Франции и Великобритании принята система переменного тока напряжением 25 кВ частотой 50 Гц, постоянного тока напряжением 1,5 кВ; в Германии используется переменный ток напряжением 15 кВ частотой $16\frac{2}{3}$ Гц; в России — переменный ток напряжением 25 кВ частотой 50 Гц и постоянный ток напряжением 3 кВ.

Серьезные препятствия в организации движения между Великобританией и континентальной Европой возникли из-за различия габаритов подвижного состава, что учитывалось при проектировании высокоскоростного поезда «Eurostar» для линий, соединяющих Париж, Брюссель и Лондон. Даже, казалось бы, второстепенный фактор — разница уровня высоты пассажирских платформ в разных странах — создавал проблемы при проектировании подвижного состава для массовых перевозок в международном сообщении.

Однако первоначальные технические решения по обеспечению возможности международного высокоскоростного движения были скорее вынужденными и заключались в установке на поезда дополнительного, по сути избыточного оборудования. Так, для обеспечения обращения высокоскоростных поездов «Eurostar» или «Thalys» по линиям разных стран, имеющих разные системы энергоснабжения, необходимо более сложное электрооборудование, обеспечивающее питание тягового привода подвижного состава при разном напряжении и виде тока в контактном проводе. На этих поездах установлены также 3—4 комплекта бортовых устройств регулирования движения и обеспечения безопасности, которые включаются поочередно на железных дорогах разных стран. Все это привело к тому, что цена высокоскоростных поездов для международного сообщения стала на 30—50 % выше, чем эксплуатируемых на национальных ВСМ.

В целях выработки условий совместимости железнодорожных технических устройств была создана специальная Ев-

ропейская ассоциация, которая разрабатывает технические условия операционной совместимости для проектирования и производства железнодорожного оборудования для общеевропейской железнодорожной сети. Совет министров транспорта Европейского Союза¹ достиг соглашения всех заинтересованных стран и утвердил основные положения этого документа в качестве руководства. Однако работа над едиными техническими условиями, начавшаяся в конце 80-х годов прошлого века, в силу их сложности, еще не завершена, хотя по отдельным элементам комплекса проблем совместимости устройств железных дорог достигнут определенный прогресс.

5.2. Общие требования к инфраструктуре высокоскоростных железнодорожных линий

Требования к инфраструктуре высокоскоростных линий определяются необходимостью обеспечения высокого уровня безопасности, надежности работы конструкции пути в целом и его элементов, комфортабельности езды пассажиров, минимального вреда окружающей среде. Существенным результатом последнего десятилетия в деятельности железнодорожного транспорта стран Европейского Сообщества стали нормализация² и унификация нормативной базы железнодорожного движения вообще и организации высокоскоростного железнодорожного движения, в частности. Европейская комиссия утвердила и опубликовала серию документов по технической совместимости устройств при органи-

¹ Европейский союз (Евросоюз, ЕС) — экономическое и политическое объединение 28 европейских государств, юридически закреплен Маастрихтским договором в 1992 г. Главной целью объединения является региональная интеграция — построение «как можно более тесного союза европейских народов» (ст. 1 Договора о Европейском Союзе).

² Нормализация — установление нормы, образца, то же, что стандартизация в пределах какой-либо отрасли производства.

зации высокоскоростных железнодорожных сообщений.

Основой для разработки норм и правил, касающихся проектирования, строительства, эксплуатации и обслуживания ВСМ в странах Европейского Союза является Директива (закон) Совета 96/48/ЕС от 23 июля 1996 г. «Об эксплуатационной совместимости трансъвропейских высокоскоростных железнодорожных систем», а также последующие акты ЕС, вносящие в указанную Директиву изменения и дополнения. Целью принятия данной Директивы является достижение совместимости европейской высокоскоростной железнодорожной сети на различных этапах ее проектирования, строительства, постепенного ввода в эксплуатацию и эксплуатации.

Положения Директивы касаются параметров компонентов, интерфейсов и процедур, необходимых и адекватных для того, чтобы обеспечить и гарантировать совместимость высокоскоростной железнодорожной сети; *сеть* определяется как система, состоящая из набора инфраструктуры, стационарных устройств и подвижного состава, а также норм и правил их обслуживания. В Директиве подчеркивается, что Государства-члены ЕС обязаны соблюдать все основные требования, изложенные в документе, для того, чтобы обеспечить совместимость европейской высокоскоростной железнодорожной сети. Требования, обеспечивающие безопасность, надежность, здоровье человека, охрану окружающей среды и техническую совместимость эксплуатации, определены в общих чертах в Приложении III.

Положения Директивы изложены в форме «Технических условий эксплуатационной совместимости» (The technical Specification for Interoperability — TSIs)¹, которые охватывают основные элементы каждой подсистемы. В них также определено, какие компоненты являются критическими с точки зрения совместимости. В 2004 г. было создано Европейское желез-

нодорожное агентство (European Railway Agency), которое отвечает за разработку и пересмотр норм и требований TSIs.

Директива составляет основу трехуровневой структуры, включающей:

- собственно саму Директиву, содержащую основные требования, предъявляемые к европейской системе ВСМ;

- технические требования к совместимости (TSIs), которые должны быть приняты в соответствии с процедурами, изложенными в Директиве;

- все другие соответствующие документы европейских организаций по стандартизации: CEN, CENELEC и ETSI².

Трансъевропейская высокоскоростная сеть разделена на множество подсистем, организация работы и взаимодействие которых обеспечивается особыми правилами. Подсистемами являются, в том числе, государства-члены Европейского Союза.

Директива также определяет распределение функций и прерогатив государств-членов, организаций-производителей оборудования и уполномоченных органов.

Директива описывает конкретные детали, касающиеся надлежащего выполнения требований к технической совместимости (интероперабельности) технических устройств ВСМ, процедуру разрешения их ввода в эксплуатацию на территории ЕС и процедуру проверки декларации ЕС о соответствии с необходимыми требованиями и TSIs, а также роль уполномоченных органов и сотрудничество между ними. Консультативные комитеты оказывают содействие Комиссии ЕС по любым вопросам, связанным с осуществлением и применением настоящей Директивы.

Использование в полном объеме, или частично, на железных дорогах Российской Федерации техники, технологий, оборудования и инструментов для эксплуатации ВСМ, имеющих в странах Европейского

² CEN (от фр. — Comité Européen de Normalisation) — Европейский комитет по стандартизации; CENELEC (от фр. — Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) — Европейский комитет электротехнической стандартизации; ETSI (от англ. — The European Telecommunications Standards Institute) — Европейский институт телекоммуникационных стандартов.

¹ Технические условия эксплуатационной совместимости, утвержденные ЕС директивой 96/48.

Союза, возможно только в том случае, если Директиве 96/48/ЕС и документам, созданным на ее основе, будут соответствовать аналогичные нормативные документы, имеющие силу в Российской Федерации.

Необходимо констатировать, что в странах, которые не входят в ЕС, но имеют ВСМ — Япония, Южная Корея, Тайвань, США, КНР, разработаны и действуют свои нормативные базы, обеспечивающие процессы разработки, проектирования, строительства, производства, эксплуатации и обслуживания ВСМ, их компонентов и устройств. В Японии и США эта нормативная база складывалась в результате самостоятельных разработок и в некоторых вопросах имеет расхождения с нормами ЕС. В Южной Корее ВСМ создавалась под большим влиянием Франции, на Тайване — Японии, КНР успешно аккумулировала и адаптировала к своим условиям опыт нескольких ведущих в области высокоскоростного железнодорожного движения стран.

Ряд государственных структур России, ОАО «РЖД» осуществляют в настоящее время работу по изучению нормативной базы высокоскоростного железнодорожного транспорта ЕС и других стран, создают отечественную нормативную базу, совместимую по основным компонентам с базой, используемой в передовых в техническом отношении странах.

В Российской Федерации основополагающим документом в этой области является «Технический регламент о безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта», утвержденный Постановлением Правительства РФ от 15 июля 2010 г. № 533 [54].

5.3. Общие принципы разработки и состав проектов железных дорог

1 июля 2008 г. в Российской Федерации вступило в силу новое «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (далее —

Положение) (утверждено Постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87) [39]. Объекты строительства указанным Положением подразделяются на следующие виды:

- объекты производственного назначения, за исключением линейных объектов;
- объекты непроизводственного назначения;
- линейные объекты, в том числе железные дороги, автомобильные дороги, трубопроводы и др.

Настоящим Положением, в отличие от ранее действующих аналогичных нормативных документов, предусматриваются два этапа (стадии) проектирования: создание «проектной документации» и «рабочей документации», по которым даны Разъяснения о порядке применения Положения о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию (Письмо Министерства регионального развития РФ от 22.06.2009 г. № 19088 — СК/08) [43].

Проектная документация состоит из текстовой и графической частей. Текстовая часть содержит сведения об объекте, описание принятых решений, пояснения, ссылки на нормативные документы, результаты расчетов и необходимые обоснования принятых проектных решений. Графическая часть отображает принятые решения в виде чертежей, схем, графиков, планов, профилей и т.п.

Рабочая документация детализирует решения, принятые в составе проектной документации, для удобства их реализации в процессе строительства. В ее состав входят текстовая часть, рабочие чертежи и спецификация оборудования и изделий. Рабочая документация может разрабатываться одновременно с проектной документацией, либо после разработки проектной документации. Объем, состав и содержание рабочей документации определяется заказчиком и указывается в задании на проектирование [43].

Рекомендуемое распределение стоимости проектных работ: проектная документация — 40 %, рабочая документация — 60 % [43].

Основные разделы проектной документации на линейные объекты следующие.

1. Пояснительная записка (основание для разработки проектной документации, исходные данные и условия проектирования, характеристика района и проектируемого объекта, описание и обоснование принципиальных вариантов и решений и др.).

2. Проект полосы отвода (расчет размеров полосы отвода; перечни искусственных сооружений, пересечений, примыканий, объектов переустройства; обоснования занятия ценных территорий; карта-схема занимаемых административно-территориальных образований; план и продольный профиль трассы и др.).

3. Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения (категория, мощность, обоснование основных технических параметров, схема тягового обслуживания, потребность в подвижном составе, потребность в персонале, схемы установки технологического оборудования, описание и чертежи конструкций и др.).

4. Здания, строения и сооружения, входящие в инфраструктуру линейного объекта (сведения о строительстве новых и реконструкции существующих объектов: перечни, характеристика, места расположения).

5. Проект организации строительства (земля, отводимая на период строительства; размещение баз; схемы доставки ресурсов; потребность в транспортных средствах; сведения об объемах и трудоемкости работ; организационно-технологическая схема сооружения объекта; обоснование потребности в кадрах; обоснование потребности во временных зданиях и сооружениях; обоснование продолжительности строительства; охрана окружающей среды на период строительства и др.).

6. Проект организации работ по сносу строений и сооружений (основания для сноса, перечни объектов, расчеты и мероприятия по обеспечению безопасности, рекультивация и благоустройство, согласования и др.).

7. Мероприятия по охране окружающей среды (оценка воздействия на окружающую

среду, мероприятия по охране, расчет затрат и компенсационных выплат и др.).

8. Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности (характеристика пожарной опасности, система обеспечения пожарной безопасности, описание и обоснование защитных мероприятий, расчет пожарных рисков и др.).

9. Смета на строительство (сводка затрат, сводный сметный расчет стоимости строительства, объектные и локальные сметные расчеты, сметные расчеты на отдельные виды затрат). Сводный сметный расчет включает следующие главы:

- подготовка территории строительства (глава 1);

- основные объекты строительства (глава 2);

- объекты подсобного и обслуживающего назначения (глава 3);

- объекты энергетического хозяйства (глава 4);

- объекты транспортного хозяйства и связи (глава 5);

- наружные сети и сооружения водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения и газоснабжения (глава 6);

- благоустройство и озеленение территории (глава 7);

- временные здания и сооружения (глава 8);

- прочие работы и затраты (глава 9);

- содержание службы заказчика, строительный контроль (глава 10);

- подготовка эксплуатационных кадров для объекта строительства (глава 11);

- проектные и изыскательские работы (глава 12).

10. Иная документация в случаях, предусмотренных федеральными законами.

5.4. Нормативная документация

1 июля 2003 г. в России введен в действие Федеральный Закон «О техническом регулировании» (ФЗ от 27.12.2002 г. № 184) [58], в соответствии с которым обязательные технические нормы во всех отраслях, вклю-

чая строительство, могут устанавливаться только техническими регламентами. Технические регламенты должны содержать основные требования к продукции (в том числе, к объектам строительства) и не должны, как правило, содержать требования к конструкции сооружений и устройств, а также к их исполнению. По указанному Закону к документам в области стандартизации на территории России, которые определяют техническую политику, в частности, в сфере строительства, относятся: международные, национальные и региональные стандарты, своды правил, стандарты предприятий.

Правовой основой технического регулирования в области железнодорожного транспорта являются: Федеральный Закон Российской Федерации (ФЗ РФ) «О техническом регулировании»; ФЗ РФ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации»; ФЗ РФ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»; а также технические регламенты (ТР) — «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»; «Технический регламент об обеспечении единства измерений» и упоминавшийся ранее «Технический регламент о безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» (далее ТР ВСМ); кроме того, иные законодательные и нормативные акты Российской Федерации, относящиеся к проектированию, строительству и эксплуатации железнодорожного транспорта.

В связи с утверждением ТР ВСМ [54] определен перечень национальных стандартов и сводов правил, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, необходимых для применения и исполнения данного технического регламента и осуществления оценки соответствия объекта его требованиям.

Основные цели принятия ТР ВСМ:

- защита жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, а также государственного и муниципального имущества;
- охрана окружающей среды;

- обеспечение энергетической эффективности.

К объектам технического регулирования ТР ВСМ относятся: высокоскоростной подвижной состав и инфраструктура высокоскоростного железнодорожного транспорта: железнодорожный путь, электроснабжение, автоматика и телемеханика, электросвязь, станционные здания, сооружения и устройства. Одним из разделов ТР ВСМ являются требования, связанные с проектированием (включая изыскания) и строительством объектов инфраструктуры ВСМ. В частности, безопасность инфраструктуры ВСМ должна обеспечиваться путем:

- осуществления необходимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- применения апробированных технических решений;
- определения обоснованных сроков службы и ресурсов, а также периодичности обслуживания и ремонтов;
- выбора материалов с учетом условий эксплуатации объекта;
- соблюдения требований проекта и осуществления авторского надзора;
- указания параметров опасных погодных явлений и соответствующего мониторинга за такими погодными явлениями;
- проведения оценки соответствия продукции и ряда других мероприятий.

Объекты инфраструктуры ВСМ должны обеспечивать безопасное движение высокоскоростного железнодорожного подвижного состава с наибольшими допускаемыми скоростями.

Нормативные технические документы, действовавшие до введения ФЗ РФ «О техническом регулировании», а также новые отраслевые и ведомственные документы в настоящее время носят рекомендательный характер. Применительно к ВСМ такими документами являются: СНиП 32-01-95 «Железные дороги колеи 1520 мм», Строительно-технические нормы (СТН) Ц-01-95 «Железные дороги колеи 1520 мм» [52]; Стандарт ОАО «РЖД» «Инфраструктура линии Санкт-Петербург — Москва для высокоскоростного движения поездов» (М.: ОАО

«РЖД», 2007) [15], Специальные технические условия (СТУ) для проектирования, строительства и эксплуатации новой высокоскоростной пассажирской железнодорожной магистрали «Москва — Санкт-Петербург» (согласованы решением Министерства регионального развития РФ от 28.07.2009 г. № 23683 — ИП/08) [50] и др.

5.5. Особые требования к проектам ВСМ

В соответствии с указанным выше Положением [39] в случае, если для разработки проектной документации на объект капитального строительства недостаточно требований по надежности и безопасности, установленных действующими нормативами, или такие требования не установлены, разработке документации должны предшествовать разработка и утверждение в установленном порядке специальных нормативных документов.

Именно такая ситуация сложилась при проектировании высокоскоростных железнодорожных магистралей в России, в связи с чем были разработаны и утверждены:

- Стандарт ОАО «РЖД» «Инфраструктура линии Санкт-Петербург — Москва для высокоскоростного движения поездов», устанавливающий требования к объектам инфраструктуры существующей железной дороги для повышения скорости движения пассажирских поездов до 250 км/ч [15];

- Специальные технические условия (далее — СТУ) для проектирования, строительства и эксплуатации новой высокоскоростной пассажирской железнодорожной магистрали «Москва — Санкт-Петербург», в соответствии с которыми [50] высокоскоростную магистраль надлежит проектировать как техническую систему, предназначенную для комфортабельной и безопасной перевозки пассажиров со скоростью до 400 км/ч.

При проектировании, строительстве и эксплуатации объектов инфраструктуры на

участках ВСМ, где реализуемые скорости пассажирских поездов не превышают 200 км/ч, используется существующая нормативная база. Исключением могут быть объекты или их составные части, для которых применяются инновационные проектные решения, специфические для ВСМ.

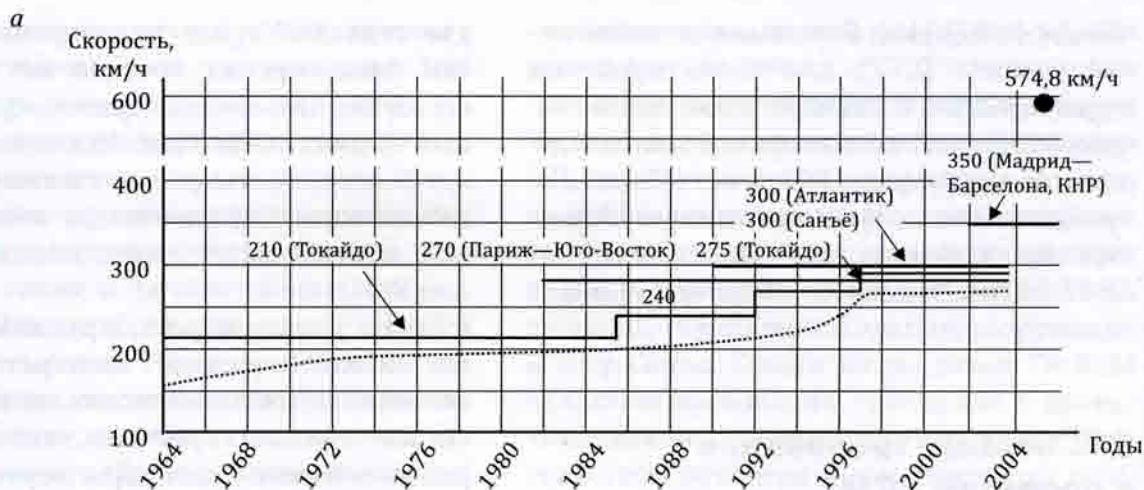
Ранее упоминалась Директива 96/48/ЕС, обеспечивающая эксплуатационную совместимость технических систем и подсистем высокоскоростных железных дорог различных стран. Для сертификации российских ВСМ (также как и ВСМ других стран) на международном уровне по стандартам ЕС¹ необходимо согласовывать принимаемые технические нормы и требования с уполномоченными органами ЕС, имеющими необходимую аккредитацию.

5.6. Основные технические параметры и решения ВСМ

К основным техническим параметрам обычных железных дорог общего пользования относят: ширину колеи, руководящий (или иной ограничивающий) уклон продольного профиля пути, число главных путей, полезную длину приемо-отправочных путей, вид тяги, схему размещения отдельных пунктов, схему участков тягового обслуживания, схемы электроснабжения электрифицированных линий и размещения тяговых подстанций.

С учетом специфики ВСМ к ее основным техническим параметрам следует отнести также максимальную допускаемую скорость движения поездов, норму непогашенного горизонтального ускорения и тип подвижного состава. Все основные технические параметры проектируемых железных дорог в большей или меньшей степени взаимосвязаны между собой. На *рис. 5.1* показано, как изменялись основные парамет-

¹ Может быть необходимо при получении банковских кредитов, решении вопроса о страховании объектов и т.п.



б

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ	ЗНАЧЕНИЕ		
Минимальный радиус кривых, м			
горизонтальных	2500	4000—5000	7000
вертикальных	10 000—15 000	16 000—25 000	25 000—30 000
Масса рельсов кг/м погонный	50	65	
Марка крестовины стрелочных переводов			
Япония	1/22—1/32		
Франция	1/46—1/65		
Германия	1/22—1/32		
Испания	1/46—1/65		
Длина сварных рельсовых плетей, м	1500—1800	2500—3000	«Бесконечной» длины
Рельсо-шпальная решетка			
Япония			
Франция			
Германия			
Испания			
Плитное основание			
Япония			
Франция			
Германия			
Испания			
Устройства СЦБ			
1-е поколение для ВСМ			
2-е поколение для ВСМ			
ETCS			

Условные обозначения:

● Мировой рекорд скорости, Франция, 2007 г.

— Максимальная разрешенная скорость

..... Максимальная участковая скорость по ВСМ в мире (по: P. Semmens)

Рис. 5.1. Изменение скоростей (а), основных параметров и технических решений ВСМ (б)

ры и технические решения ВСМ в мире на протяжении последних десятилетий с увеличением максимальной скорости движения.

В настоящее время не подвергается сомнению то, что для ВСМ в России принимается ширина колеи, равная стандартной ее величине на железных дорогах страны, — 1520 мм. В перспективе для участков выхода на международную сеть ВСМ в качестве альтернативы следует рассматривать и вариант колеи 1435 мм. В значительной степени апробированными в мировой практике являются: число главных путей, равное двум, и электрическая тяга. Наличие лишь одного главного пути (однопутная линия) при большой скорости движения резко снижает уровень безопасности и пропускную способность линии.

Детальные оценки основных параметров ВСМ будут даны далее в соответствующих разделах. Здесь остановимся лишь на рассмотрении таких параметров как величины максимальной скорости, руководящего уклона и нормы непогашенного горизонтального ускорения, которые в значительной мере определяют положение трассы и стационарных устройств ВСМ (земляного полотна, водопропускных сооружений и др.), требующих очень больших затрат на реконструкцию в период последующей эксплуатации.

Максимальная допускаемая скорость движения высокоскоростного подвижного состава V_{\max} является важнейшим основным техническим параметром ВСМ. Она определяет большую долю доходной составляющей от реализации проекта, с одной стороны, и объем капитальных затрат, а также эксплуатационных расходов — с другой. Обоснованность более высокого уровня максимальной скорости повышается с ростом потока пассажиров. Для примера уровни максимальной скорости ряда ВСМ приведены на рис. 5.1.

Руководящий уклон $i_p(\max)$ ВСМ должен выбираться на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом топографических и иных природных условий района проектирования; размеров, ха-

рактера и темпов роста перевозок на перспективу во взаимосвязи с максимальной скоростью, мощностью подвижного состава и другими основными техническими параметрами линии.

Норма непогашенного горизонтального ускорения a_n (см. также п. 5.8) определяет комфортабельность езды пассажиров. Многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлено, что эта норма может варьироваться от $0,4 \text{ м/с}^2$ (высокий уровень комфортабельности) до $1,0 \text{ м/с}^2$ (удовлетворительный уровень комфортабельности).

К увеличению длины ВСМ и (или) к увеличению объемов работ приводят: повышение уровня максимальной допускаемой скорости, уменьшение величины руководящего уклона, снижение нормы непогашенного горизонтального ускорения. Преимуществом меньшего значения руководящего уклона ВСМ являются более благоприятные условия эксплуатации подвижного состава и меньшие расходы по текущему содержанию железнодорожного пути.

Директивой 96/48/ЕС рекомендуются: $V_{\max} = 350 \text{ км/ч}$, $i_p(\max) = 35 \text{ ‰}$ и $a_n = 0,55 \text{ м/с}^2$.

Для новой ВСМ Москва — Санкт-Петербург (СТУ) предполагаются $V_{\max} = 400 \text{ км/ч}$, $i_p(\max) = 24 \text{ ‰}$ и $a_n = 0,4 \text{ м/с}^2$ (в трудных условиях $a_n = 0,7 \text{ м/с}^2$).

Динамика формирования ряда технических решений, зависящих от основных технических параметров ВСМ, показана в нижней части рис. 5.1.

5.7. Выбор принципиального направления и положения трассы ВСМ

Трасса — это пространственная ось железнодорожного пути в уровне бровки основной площадки земляного полотна. На двухпутных и многопутных линиях рассматривают, как правило, отдельно трассу каждого из путей. На выбор принципи-

ального направления и положения трассы проектируемой высокоскоростной магистрали оказывают влияние социально-экономические, природные, технические и другие факторы и условия, многие из которых между собой тесно взаимосвязаны.

К наиболее значимым *социально-экономическим факторам* можно отнести: назначение проектируемой линии в обеспечении востребованных транспортных связей; расположение крупных населенных пунктов; размеры и характер ожидаемых пассажирских перевозок; степень застройки территории; перспективы социально-экономического развития района проектирования; вопросы стыкования пассажиропотоков проектируемой линии с другими путями сообщения; результаты согласований с федеральными, региональными и территориальными органами власти и др.

Основным назначением новой высокоскоростной железнодорожной линии является обеспечение больших объемов пассажирских перевозок между двумя и более крупными городами и их районами тяготения с минимальными потерями времени пассажирами. Причастность крупных населенных пунктов к выбираемому направлению определяет размеры пассажирских перевозок и доходы от эксплуатации. При проектировании магистральной линии с преимущественным транзитным пассажиропотоком необходимо стремиться к кратчайшей длине трассы между конечными пунктами. Плотная городская застройка промежуточных населенных пунктов и наличие многочисленных инженерных коммуникаций диктуют необходимость выноса железнодорожной линии за черту города. В пределах крупных станций и узлов, особенно конечных пунктов, ВСМ необходимо увязывать в единую сеть с другими видами транспорта (городским, пригородным и авиационным, а в некоторых случаях — с водным). Результаты согласований с органами власти и с хозяйствующими субъектами могут потребовать изменения положения линии даже на последующих этапах проектирования.

Социально-экономические факторы определяют расположение так называемых «опорных пунктов», в том числе промежуточных, через которые или вблизи которых ВСМ должна пройти обязательно. Опорными, в первую очередь, являются конечные пункты магистрали, предопределяемые в большинстве случаев самой транспортной задачей, поэтому они находят отражение уже в задании на проектирование.

К *природным условиям*, оказывающим влияние на выбор направления и положение трассы ВСМ, относятся: топографические, инженерно-геологические, гидрографические, сейсмические и ряд других. Природные условия создают препятствия для укладки трассы по кратчайшему направлению между опорными пунктами. Эти препятствия можно разделить на два вида: высотные и контурные, или ситуационные.

Высотными препятствиями являются горные хребты и ущелья, высокие водоразделы и глубокие долины, крутые обрывистые берега рек и озер (прижимы) и др. К контурным препятствиям относятся водотоки и водоемы, заповедники, заказники и другие особо охраняемые территории, а также неблагоприятные в инженерно-геологическом отношении места: болота, зоны распространения слабых грунтов и карста, участки оползней и осыпей, неустойчивые овраги, участки схода снежных лавин и селевых потоков и т.п.

Наряду с перечисленными природными препятствиями, к контурным относятся и некоторые препятствия социального характера: населенные пункты, инженерные коммуникации, ценные сельскохозяйственные угодья.

Наиболее благоприятные преодоления, пересечения или обходы высотных и контурных препятствий определяют положение так называемых «фиксированных точек», через которые желательна прокладка трассы проектируемой железной дороги. Фиксированными точками являются попутные или наиболее низкие «седла» пересекаемых водоразделов, наиболее удобные места пересечения рек, инженерных коммуни-

каций, а также обхода контурных препятствий.

С учетом опорных пунктов и фиксированных точек намечают варианты направления проектируемой линии. Пример возможных вариантов направления ВСМ между заданными конечными пунктами показан на рис. 5.2.

Варианты направления проектируемой ВСМ между одними и теми же опорными пунктами можно предварительно оценить по следующим показателям: длине линии, числу и размерам пересекаемых трассой больших водотоков, протяженности неблагоприятных в геологическом отношении участков и др.

В общем случае положение опорных пунктов, а следовательно, и фиксированных точек может быть не строго определенным. Тогда задача по выбору направления проектируемой линии усложняется и ее решение в большей мере потребует взаимной

увязки работы различных видов транспорта, рассмотрения расширенного полигона сети существующих железных дорог и иных путей сообщения, а также использования для оценки вариантов дополнительных показателей и критериев.

Наиболее конкурентоспособные варианты ВСМ принимаются для дальнейшего уточнения положения трассы между опорными пунктами и (или) фиксированными точками с учетом технических факторов и природных особенностей конкретных участков проектирования.

К *техническим факторам*, которые оказывают влияние на направление и положение трассы, можно отнести такие важные технические параметры ВСМ, как установленная максимальная скорость движения поездов и руководящий уклон.

Максимальная скорость определяет положение трассы через минимальный потребный радиус кривых и условия его впи-



Рис. 5.2. Пример возможных вариантов направления ВСМ между заданными конечными пунктами Санкт-Петербургом и Москвой

сывания в рельеф местности и систему ситуационных ограничений.

В связи с большой стоимостью каждого километра двухпутной электрифицированной линии при проектировании ВСМ следует стремиться к сокращению ее длины. Сокращения протяженности ВСМ, в частности, можно добиться за счет увеличения руководящего уклона. Но это, в свою очередь, может привести к увеличению расходов на движение поездов. Сокращение длины при фиксированном значении ограничивающего уклона, как правило, ведет к увеличению объемов работ (земляные, устройство водопропускных сооружений и др.). Однако при благоприятных топографических условиях (рельеф без затяжных максимальных подъемов) это увеличение объемов может быть сопоставимо со снижением стоимости сооружений, зависящих от длины трассы (верхнего строения пути, СЦБ и связи и др.).

На положение трассы также оказывают влияние: экологические природные требования (расположение особо охраняемых природных территорий, водоохранных зон и прибрежных защитных полос водных объектов и др.); шумовое воздействие от движения поездов, пути миграции редких и ценных животных); благоприятное расположение попутных водоразделов, долин рек и пологих склонов; наличие сложных физико-географических явлений (склоновых процессов, заболоченной местности, наледей, сейсмических воздействий и др.) и ряд дополнительных факторов и условий, специфических для района проектирования. Иногда в процессе проектирования по техническим, природным, экологическим или иным условиям положение предусмотренных ранее промежуточных опорных пунктов приходится корректировать.

Таким образом, при указанном выше многообразии факторов и условий, влияющих на принципиальное направление и положение трассы ВСМ, принимаемые в этой части проектные решения должны быть особенно взвешенными и обоснованными.

Именно от этих решений в значительной степени зависит стоимость и эксплуатационные характеристики проектируемой линии, а также эффективность капитальных вложений в ее сооружение.

5.8. Основные элементы плана линии и условия их проектирования

Параметры и нормы проектирования трассы, так же как и все зависящие от нее сооружения и устройства, должны обеспечивать безопасность движения поездов с максимально допустимыми скоростями. Для получения проекта трассы как пространственной линии, необходимо за проектировать ее план и продольный профиль.

Планом железнодорожной линии называется проекция трассы на горизонтальную плоскость. План линии представляет собой сочетание прямых участков пути различного направления, плавно сопряженных друг с другом круговыми и переходными кривыми.

Прямые участки пути имеют значительные строительные и эксплуатационные преимущества по сравнению с криволинейными участками (более простая и дешевая конструкция пути, меньше износ элементов пути и подвижного состава и др.). В благоприятных топографических условиях, при отсутствии контурных препятствий, следует стремиться к устройству прямых большой протяженности.

Основной целью устройства криволинейных участков является уменьшение стоимости сооружения железных дорог. Наиболее часто кривые проектируются в сложных топографических, инженерно-геологических и иных природных условиях, при трудных ситуационных обстоятельствах (для обхода или наиболее благоприятного пересечения зон жилой застройки, инженерных коммуникаций и т.д.).

Правильное определение проектировщиком необходимого количества кривых на каком-либо участке пути, их местоположения и параметров является сложной инженерной задачей.

Круговые кривые. Основными параметрами (характеристиками) круговой кривой (рис. 5.3) являются направление поворота (вправо или влево), угол поворота α и радиус R . Главными производными характеристиками круговой кривой от угла и радиуса являются тангенс $T = R \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$, длина круговой кривой $K = \pi R \alpha / 180$, биссектриса угла $B = R (\sec(\alpha/2) - 1)$, а также точки центра кривой O , вершины угла (ВУ), начала круговой кривой (НKK) и конца круговой кривой (KKK).

При выборе величины радиуса круговой кривой следует иметь в виду, что, наряду с преимуществами, кривые, особенно малых радиусов, имеют существенные недостатки. Одним из основных таких недостатков является ограничение скорости движения поездов. Зависимость допускаемой скорости движения поезда от величины радиуса определяется поперечными силами, действующими на подвижной состав в кривой. Основной такой силой является центробежная сила, направленная от центра кривой и стремящаяся опрокинуть подвижной состав:

$$F_1 = \frac{mV^2}{3,6^2 R},$$

где m и V — соответственно масса, т, и скорость подвижного состава, км/ч; 3,6 — коэффициент приведения размерности км/ч к м/с.

Действие указанной силы неблагоприятно сказывается на комфортабельности езды пассажиров. Эта сила способствует также боковому воздействию на наружную рельсовую нить, что может привести к уширению колеи, боковому износу рельсов и поперечному угону пути.

Для уменьшения влияния центробежной силы на подвижной состав и пассажиров устраивается возвышение h , мм, наружного рельса над внутренним. В результате устройства возвышения наружного рельса

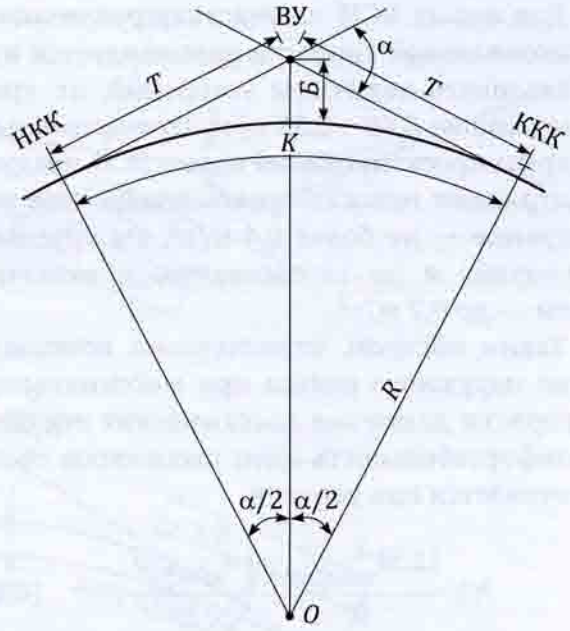


Рис. 5.3. Характеристики и элементы круговой кривой: K — длина; R — радиус; O — центр; ВУ — вершина угла; НKK и KKK — начало и конец круговой кривой; α — угол поворота

появляется горизонтальная составляющая силы тяжести подвижного состава, направленная, в отличие от центробежной силы, наоборот, к центру круговой кривой:

$$F_2 = \frac{mgh}{S},$$

где g — ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; S — расстояние между осями рельсов, равное 1600 мм.

Важнейшим из требований ограничения скорости движения поездов является комфортабельность езды пассажиров. Оно вытекает из условия, когда при высоких скоростях $F_1 > F_2$ и $F_1 - F_2 = \Delta F$:

$$\Delta F = \frac{mV^2}{3,6^2 R} - \frac{mgh}{S}.$$

После деления всех слагаемых последнего равенства на m получаем

$$\frac{\Delta F}{m} = \frac{V^2}{3,6^2 R} - \frac{gh}{S},$$

где $\frac{\Delta F}{m} = a_{\text{н(пс)}}$ — непогашенное поперечное ускорение, м/с^2 , которое по условиям комфортабельности езды пассажиров нормируется.

Для новых ВСМ на участках реализации максимальной скорости рекомендуется использовать величины ускорений, не превышающие 0,40—0,55 м/с². Отечественные нормы проектирования новых ВСМ предусматривают непогашенного поперечное ускорение — не более 0,4 м/с², а в трудных условиях и по согласованию с заказчиком — до 0,7 м/с².

Таким образом, относительно возвышения наружного рельса при максимальной скорости движения пассажирских поездов комфортабельность езды пассажиров обеспечивается при условии

$$h \geq \frac{12,5V_{\max(\text{пс})}^2}{R} - \frac{[a_{\text{н(пс)}}]S}{g}, \quad (5.1)$$

где $a_{\text{н(пс)}}$ — принятая норма непогашенного поперечного ускорения для пассажирских поездов.

Специальными техническими условиями (СТУ) и иными нормативными документами максимальное значение h_{\max} в России установлено равным 150 мм. Максимальное значение h при проектировании не должно превышать 140 мм. Европейским стандартом предполагается возможность увеличения максимального значения h до 200 мм.

Таким образом, в соответствии с СТУ и (5.1) потребное минимальное значение R составляет:

- 10 000 м — при $V_{\max} = 400$ км/ч,
- 7500 м — при $V_{\max} = 350$ км/ч,
- 5500 м — при $V_{\max} = 300$ км/ч,
- 3800 м — при $V_{\max} = 250$ км/ч.

Для станционных путей, по которым будет осуществляться пропуск высокоскоростного подвижного состава с минимальными скоростями, допускается применять минимальный радиус кривой в плане не менее 200 м.

К недостаткам кривых малых радиусов относятся также усиленный износ рельсов и колес подвижного состава; уменьшение коэффициента сцепления колес подвижного состава с рельсами; увеличение расходов по текущему содержанию и ремонту верх-

него строения пути; удлинение трассы, усиление и удорожание конструкции пути; увеличение сопротивления движению подвижного состава.

В кривых участках пути повышенный боковой износ рельсов и колесных пар вызван усиленным прижатием реборды колеса к боковой грани головки рельса, а повышенный вертикальный износ рельсов — проскальзыванием колес, жестко посаженных на ось, но преодолевающих в пределах кривой разные расстояния по наружной и внутренней рельсовым нитям. Кроме повышенного износа, от действия более интенсивных поперечных и продольных сил (в частности, сил сопротивления или торможения), в кривых учащаются случаи одиночного выхода рельсов. Повышенный износ и повреждаемость рельсов в кривых зависит от размеров движения, конструкции пути и подвижного состава, нагрузки на ось колесной пары, скорости движения и величины радиуса кривой. Дополнительный износ и выход рельсов в кривых, поперечный и продольный угон (или смещение) шпал и рельсов, более напряженная работа скреплений приводят к увеличению расходов по текущему содержанию и ремонту верхнего строения пути.

Уменьшение радиуса кривой от R_1 до R_2 при неизменном угле поворота (рис. 5.4) приводит к удлинению линии на ΔL , которое без учета переходных кривых, т.е. ориентировочно, можно определить по формуле:

$$\Delta L = 2(T_1 - T_2) + K_2 - K_1,$$

где T_1 и T_2 — тангенсы кривых соответствующих радиусов, м; K_1 и K_2 — длины кривых соответствующих радиусов, м.

Переходные кривые. Переходные кривые устраиваются для плавного перехода от круговой кривой радиуса R к прилегающим прямым участкам пути и для плавного сопряжения круговых кривых разных радиусов. Кроме того, в пределах переходной кривой также устраивается плавный отвод возвышения наружного рельса (рис. 5.5).

Рис. 5.4. Удлинение линии при уменьшении радиуса кривой: R_1 и R_2 — радиусы кривой; α — угол поворота; K_1 и K_2 — длины кривых соответствующих радиусов

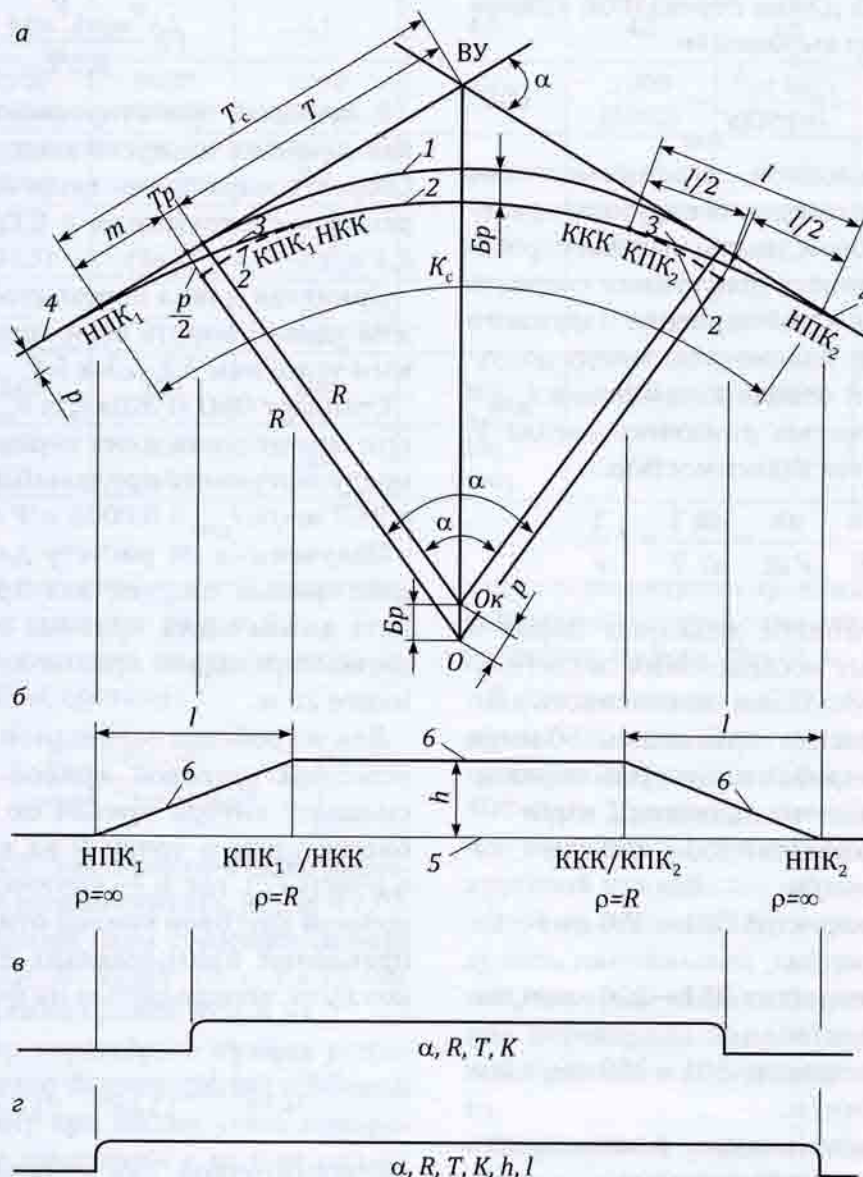
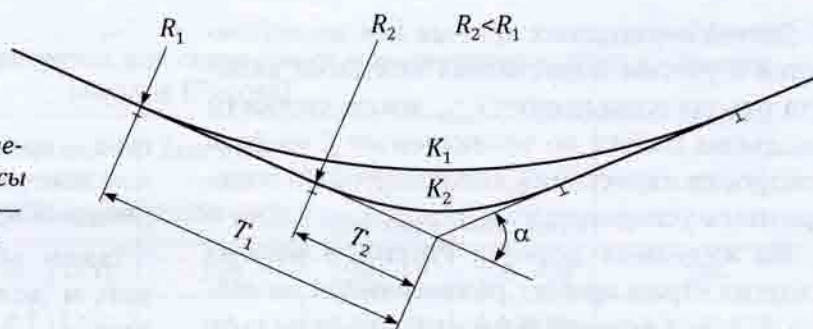


Рис. 5.5. Положение и отображение кривых: а — в плане; б — с учетом высотного положения рельсовых нитей; в — круговой на схематическом (или сокращенном) продольном профиле трассы; г — общей кривой (круговой и переходных) на подробном продольном профиле трассы; 1 — положение круговой кривой до ее смещения для устройства переходных кривых; 2 — то же, после ее смещения и устройства переходных кривых; 3 — переходные кривые; 4 — прямые; 5 — уровень головки внутреннего рельса; 6 — уровень головки наружного рельса; НПК, КПК — начало и конец участка круговой кривой после устройства переходной кривой при фиксированной ее длине и определенном угле поворота

Длина переходных кривых l , м, определяется с учетом допустимых значений уклона отвода возвышения $i_{\text{доп}}$, мм/м, скорости подъема колеса по возвышению f , мм/с, и скорости нарастания непогашенного поперечного ускорения Ψ , м/с³.

На железных дорогах России и многих других стран принят равномерный линейный отвод возвышения наружного рельса. В этих условиях длина переходной кривой определяется из выражения

$$l = \frac{h}{1000i_{\text{доп}}}. \quad (5.2)$$

Основным условием, ограничивающим уклон отвода возвышения наружного рельса для новых скоростных и высокоскоростных линий, является допустимая скорость подъема колеса на возвышение наружного рельса $f = dh/dt$. Взаимосвязь между допустимым уклоном отвода возвышения $i_{\text{доп}} = dh/dl$ и скоростью движения поезда V , м/с, определяется зависимостью:

$$i_{\text{доп}} = \frac{dh}{dl} = \frac{dh}{V dt} = \frac{dh}{dt} \frac{1}{V} = f \frac{1}{V}.$$

Опыт эксплуатации железных дорог и многочисленные исследования свидетельствуют, что по условиям безопасности движения f не должно превышать 50 мм/с. В России для нормирования длин переходных кривых приняты значения f , мм/с:

41,1 — при скоростях 351—400 км/ч, т.е. i не более 0,37 мм/м;

38,9 — при скоростях 301—350 км/ч, т.е. i не более 0,40 мм/м;

37,5 — при скоростях 251—300 км/ч, т.е. i не более 0,45 мм/м;

34,7 — при скоростях 201—250 км/ч, т.е. i не более 0,50 мм/м.

Длина переходной кривой в зависимости от f определяется из выражения:

$$l \geq \frac{hV_{\text{max}}}{3,6f}, \quad (5.3)$$

где V измеряется в км/ч, а f — в мм/с.

От длины переходной кривой зависит и скорость нарастания Ψ непогашенного поперечного ускорения, м/с³:

$$\Psi = \frac{a_{\text{н(пс)}}}{t} = \frac{a_{\text{н(пс)}} V_{\text{max}}}{3,6l},$$

где t — время движения поезда при непогашенном поперечном ускорении $a_{\text{н(пс)}}$ с V_{max} по переходной кривой.

Таким образом, длина переходной кривой, м, должна также удовлетворять условию

$$l \geq \frac{a_{\text{н(пс)}} V_{\text{max}}}{3,6\Psi}. \quad (5.4)$$

В практике проектирования значение Ψ , как правило, не превышает 0,4—0,6 м/с³. Скорость нарастания непогашенного ускорения в соответствии с СТУ — не более 0,4 м/с³.

Принятая длина переходной кривой должна удовлетворять всем трем перечисленным условиям 5.2, 5.3 и 5.4.

Стандарт ОАО «РЖД» для V_{max} до 250 км/ч при определении длин переходных кривых предусматривает предельные значения $f = 34,7$ мм/с, $i_{\text{доп}} = 0,0005$ и $\Psi = 0,4$ м/с³.

Полученные по расчету длины переходных кривых следует, как правило, округлять до значений, кратных 10 м. При этом длина переходной кривой не должна быть менее 20 м.

Для устройства переходной кривой центр исходной круговой кривой O_k (рис. 5.5) смещают внутрь кривой по направлению биссектрисы в точку O на величину $Bp = p \cdot \sec(\alpha/2)$, где p — сдвигка концов смещенной круговой кривой относительно направлений примыкающих прямых участков пути, определяемая по формуле

$$p = \frac{l^2}{24R} \left(1 - \frac{l^2}{112R^2} + \frac{l^4}{21120R^4} - \dots \right).$$

С достаточной для практических целей точностью эту сдвигку можно определять как $p = l^2/24R$.

Из нового центра O тем же радиусом R проводят круговую кривую, начало и конец которой смещаются в стороны от вершины угла на расстояние $Tr = p \cdot \tg(\alpha/2)$. Переходные кривые вписывают между подходными

Таблица 5.2

Основные параметры для плана линии для скоростного и высокоскоростного движения поездов (Россия)

Основные параметры	СТН Ц-01-95		Стандарт ОАО «РЖД» V=250 км/ч	Ленгипро- транс V=350 км/ч	СТУ		TSIs
	V= =160 км/ч	V= =200 км/ч			V= =350 км/ч	V= =400 км/ч	
h_{\max} , мм	150	150	100 (125)	150	150—10	150—10	200
a_n	0,7 (1,0)	0,6 (1,0)	0,7 (1,0)	0,4	0,4 (0,7)	0,4 (0,7)	0,52 (0,57)
Междупу- тье, м	4,1	4,1	4,1	4,5	4,8	4,8	4,5
R_{\min} , м	2500 (2000)	3000 (2500)	3700 (3000)	7000	7000 (6000)	10 000 (7500)	По расчету
Отвод h , мм/м	0,62 (0,78)	0,50 (0,62)	0,5	0,43	0,40	0,37	Из условий ком- фортабельности
f , мм/с	27,8 (34,7)	27,8 (34,7)	34,7	41,7	38,9	41,1	Из условий ком- фортабельности
Ψ , мм/с ³	—	—	0,4	—	0,4	0,4	Из условий ком- фортабельности
$l_{\text{пер}}$, м	240	300	200	350	375	400	Из условий ком- фортабельности
$l_{\text{пр}}$, м	150 (50)	150 (100)	50	800 (700)	400	400	Из условий ком- фортабельности

ми прямыми и круговой кривой, сдвинутой внутрь так, как показано на рис. 5.5.

Приращение тангенса от разбивки переходной кривой, m , составит

$$m = \frac{l}{2} \left(1 - \frac{l^2}{120R^2} - \frac{l^4}{17\,280R^4} - \dots \right).$$

С достаточной для практических расчетов точностью можно считать, что $m \approx l/2$. В итоге суммарный (или суммированный) тангенс кривой T_c будет $T_c = T + Tr + m$, а суммарная длина кривой $K_c = K + l$.

Очевидно, что переходные кривые устраиваются частично за счет длины круговой кривой. Поэтому при малых углах поворота, особенно в сочетании с малым радиусом, необходимо проверить возможность устройства переходных кривых, т.е. соблюдение условия

$$\alpha \geq \frac{180}{\pi R} (l + K_{\min}),$$

где K_{\min} — минимальная длина круговой кривой после устройства переходных кривых, ко-

торую рекомендуется принимать не менее полной длины колесной базы единицы подвижного состава, то есть 20—25 м.

В соответствии с СТУ длина круговых кривых должна быть не менее 200 м при скорости 350 км/ч и 250 м — при скорости 400 км/ч. Кривые должны иметь постоянное значение радиуса на всем протяжении круговой кривой.

Из выражения (5.5) можно также определить наименьший радиус круговой кривой, который может обеспечить вписывание переходной кривой при фиксированной ее длине и определенном угле поворота.

Сопряжение смежных кривых. Смежными, или зависимыми называют соседние кривые, расположенные достаточно близко друг к другу, если хотя бы одна из них оказывает влияние на условия движения поезда по другим криволинейным участкам. На таких участках поезд входит в очередную кривую, когда поперечные колебания подвижного состава, возникшие при

проходе предыдущей кривой, могут еще оставаться. Таким образом, длина прямой вставки d между криволинейными участками должна быть не менее длины участка затухания колебаний кузова подвижного состава [14], то есть удовлетворять условию

$$d \geq \frac{V_{\max} q}{3,6 q_1},$$

где q — количество колебаний боковой качки кузова подвижного состава до затухания: $q = 2,0—3,5$; q_1 — собственная частота боковых колебаний кузова подвижного состава: $q_1 = 1,0—2,5$ Гц.

В зависимости от максимальной скорости движения (км/ч) длина прямой вставки, м, в большинстве случаев рекомендуется от $0,5V_{\max}$ до $1,4V_{\max}$. В соответствии с СТУ длина прямых вставок между начальными точками переходных кривых должна быть не менее 400 м. Расположение пути в тоннеле в плане должно удовлетворять требованиям, предъявляемым к открытым участкам трассы ВСМ.

Основные параметры плана линии для скоростного и высокоскоростного движения пассажирских поездов в России приведены в табл. 5.2.

5.9. Элементы продольного профиля и требования к их проектированию

Продольным профилем железнодорожной линии называется проекция развертки трассы на вертикальной плоскости. Он состоит из прямолинейных элементов, различающихся крутизной и протяжением. Перелом продольного профиля является границей смежных элементов, а проекция элемента на горизонтальную ось — длиной элемента, которая измеряется в метрах. Такое допущение по измерению длины элементов возможно при малых уклонах, которые используются при проектировании продольного профиля железных дорог. Уклон продольного профиля

обычно измеряется в тысячных (промилле), ‰. Численное значение уклона в этом случае показывает величину подъема или спуска в метрах на 1 км длины линии. Уклон, по которому поезд следует на подъем, считается положительным, а на спуск — отрицательным. Перелом продольного профиля характеризуется алгебраической разностью уклонов сопрягаемых элементов $\Delta i = |(\pm i_2) - (\pm i_1)|$. Прямолинейные элементы продольного профиля, при необходимости, с целью обеспечения требуемой плавности движения поезда сопрягаются вертикальными кривыми.

При проектировании продольного профиля необходимо обеспечение плавности, бесперебойности и безопасности движения поездов.

Обеспечение плавности движения поездов. Плавность движения поездов обеспечивается в наилучшей степени, если при проектировании продольного профиля использовать элементы возможно большей длины при наименьшей алгебраической разности уклонов смежных элементов. Однако для уменьшения объема земляных работ и снижения стоимости строительства железной дороги, наоборот, более желательны элементы меньшей длины при большей разности их уклонов, когда проектная линия максимально повторяет очертание поверхности земли по направлению трассы.

От конкретного сочетания элементов продольного профиля, общих форм продольного профиля и плана линии, зависящих от топографических условий местности, и действий машиниста (увеличение или сброс тяги, приведение в действие или отпуск тормозов и т.п.) зависит образование в поезде на том или ином участке растягивающих или сжимающих усилий. Большие растягивающие или сжимающие силы, особенно в кривых малых радиусов, могут привести соответственно к «выдергиванию» или «выжиманию» вагонов из состава, т.е. к сходу вагонных тележек с рельсов. Ускорения, возникающие при действии продольных сил, могут оказывать неблагоприятные воздействия на комфорт пассажиров и сохранность багажа.

Очевидно, что с технико-экономической точки зрения при проектировании продольного профиля нужно руководствоваться предельными значениями длины элемента и алгебраической разности уклонов, при которых будет обеспечена прочность и устойчивость подвижного состава и комфортабельные условия для пассажиров.

Для определения этих предельных значений длины элементов профиля и разностей уклонов были проведены многочисленные исследования, в частности [29, 16 и др.], на основании которых разработаны действующие нормы проектирования продольного профиля. В исследованиях рассматривались наиболее неблагоприятные сочетания режимов движения поезда и очертаний профиля, когда сжимающие усилия в поезде меняются на растягивающие и, наоборот, растягивающие на сжимающие. Исследования показали, что прочность и устойчивость вагонов, а также создание благоприятных условий для пассажиров, обес-

печивается, когда элементы продольного профиля сопрягаются вертикальной кривой, радиус которой R_v составляет в большинстве случаев от 10 до 100 тыс. м (рис. 5.6). Радиус вертикальной кривой для специализированных пассажирских линий зависит главным образом от скорости и условий движения поезда. Рекомендуемые большие значения радиуса кривой соответствуют высоким скоростям и наиболее сложным условиям движения поезда (сжимающие или знакопеременные усилия на сцепке и др.).

На высокоскоростных магистралях вертикальные кривые проектируются, как правило, уже при алгебраической разности уклонов смежных элементов продольного профиля более $\Delta i = 1 \text{ ‰}$. Для новой высокоскоростной пассажирской железнодорожной магистрали Москва — Санкт-Петербург радиус вертикальных кривых определяется исходя из величины непогашенного вертикального ускорения $a_v = 0,39 \text{ м/с}^2$ с учетом скорости движения вы-

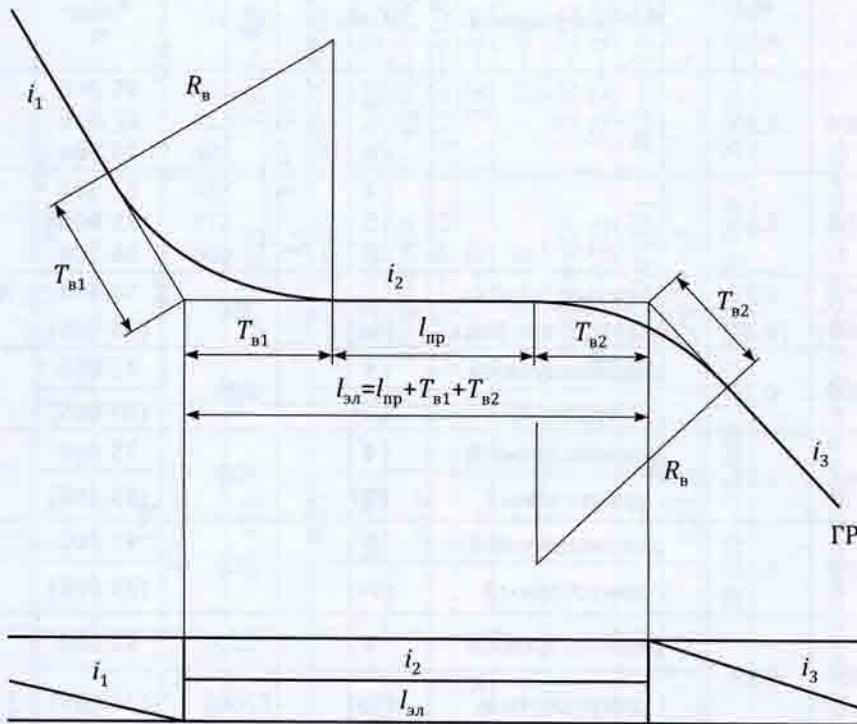


Рис. 5.6. Сопряжение элементов продольного профиля ВСМ вертикальными кривыми: $l_{эл}$ — длина элемента между фиктивными точками перелома продольного профиля; $l_{пр}$ — расстояние между смежными вертикальными кривыми; i_1, i_2, i_3 — уклоны элементов продольного профиля; $T_{в1}, T_{в2}$ — тангенсы первой и второй вертикальных кривых

сокоскоростного поезда, а расстояние между смежными вертикальными кривыми $l_{пр}$ не должно быть менее 250 м (СТУ) [50]:

$$R_B = \frac{V_{\max}^2}{3,6^2 a_B}.$$

При проектировании высокоскоростных железнодорожных магистралей может нормироваться и непосредственно R_B (табл. 5.3). Например, в России в соответствии со Стандартом ОАО «РЖД» R_B не должен быть менее 16 000 м для скорости движения пассажирских поездов до 250 км/ч [15].

Сравнительные данные по нормам проектирования плана и продольного профиля трассы ВСМ в различных странах приведены в табл. 5.4.

Обеспечение безопасности и бесперебойности движения поездов. Важнейшим

требованием при проектировании продольного профиля железной дороги является обеспечение безопасности движения поездов. Основные условия обеспечения безопасности в этом случае следующие:

- исключение нарушений плавности движения поезда, которые могут привести к появлению в поезде значительных продольных сил и ускорений и, как следствие, к разрушению конструктивных элементов вагонов, или вызвать сход подвижного состава с рельсов;
- создание безопасных условий движения на пересечениях проектируемой железной дороги с другими путями сообщения;
- предохранение проектируемой линии от размыва и затопления;
- обеспечение гарантий безопасности движения поездов по крутым затяжным спускам.

Таблица 5.3

Параметры проектирования продольного профиля железных дорог для скоростного и высокоскоростного движения пассажирских поездов в России

Скорость, V_{\max} , км/ч	$R_{в'}$, м/с	$a_{в'}$, м/с ²	Особые условия	Δi , ‰	$l_{эл}$, м		$R_{сопр}$, м	Примечание
400	32 000	0,39	—	4 5 6	$l_{эл} = 2T_{в} + 250$	400 425 450	95 000 82 000 73 700	СТУ
350	25 000	0,39	—	4 5 6		350 375 400	87 500 75 000 66 700	СТУ
350	30 000	0,32	выпуклый профиль	6		350	58 300	Ленгипротранс, 1991 г.
	(25 000)	(0,38)	вогнутый профиль	(10)	(35 000)			
250	16 000	0,30	рекомендуемый	4	300	75 000	Стандарт ОАО «РЖД»	
			трудный	(5)		(60 000)		
200 ($l_{по}=1050$)	20 000	0,15	рекомендуемый	4	300	75 000	СТН	
			допускаемый	(9)		(33 300)		
200 ($l_{по}=850$)	20 000	0,15	рекомендуемый	6	250	41 700	СТН	
			допускаемый	(10)		(25 000)		
160 (I катег.), $l_{по}=1050$)	15 000	0,13	рекомендуемый	4	250	62 500	СТН	
			допускаемый	(10)	(200)	(20 000)		
160 (II катег., $l_{по}=1050$)	15 000	0,13	рекомендуемый	5	250	50 000	СТН	
			допускаемый	(10)	(200)	(20 000)		

¹ $l_{по}$ — полезная длина приемо-отправочных путей на отдельных пунктах.

Таблица 5.4
Сопоставительные данные по плану и продольному профилю высокоскоростных магистралей в различных странах

Страны Параметры и нормы	Страны ЕС при V_{\max} , км/ч			Япония при V_{\max} 210—260 км/ч	Россия при V_{\max} , км/ч		STIs при V_{\max} 350 км/ч
	250 ¹ (Италия)	300	350		250 ¹	350	
h_{\max} , мм	125	105 ¹ —180	130 ¹ —180	180	100 (125)	150	200
$a_{n(\text{ис})}$, м/с ²	0,85	0,55—0,84 (0,65—0,97 ²)	0,42—0,73 (0,55)	0,5 (0,7)	0,7 (1,0)	0,4 (0,7)	0,52 (0,57)
Междупутье, м	4,6 (4,0)	4,2—5,0	4,5—5,0	4,2—4,3	4,1	4,8	4,5
R_{\min} , м	3000	4000—6000 (3200—4800)	6250—7250 (5120—6500)	2500—4000	3700 (3000)	7000 (6000)	По расчету
Прямая вставка, м	—	300—420	350—476	—	50	400	Из усл. comfort.
$i_{p(\max)}$, ‰	8	12—40	12—40	12—15	15	24	35
Отвод h , мм/м	—	0,30—0,60 (0,60—0,72)	0,30—0,52 (0,52—0,62)	—	0,50	0,4	Из усл. comfort.
f , мм/с	—	27,0—37,0 (50)	30,0—37,0 (50)	—	34,7	38,9	То же
Ψ , м/с ³	0,33	0,28—0,33	—	0,14	0,40	0,40	То же
$R_{\text{в}}$, м	20 000—30 000	12 000—25 000	20 000—25 000	10 000—15 000	16 000	25 000	То же

Примечания:
1 Для совмещенного пассажирского и грузового движения.
2 При устройстве пути без балласта; цифры в скобках соответствуют трудным условиям.

Безопасность движения на пересечении путей сообщения максимально обеспечивается их устройством в разных уровнях. Пересечения ВСМ с существующими и проектируемыми автодорогами, железными дорогами и коммуникациями в России в соответствии с СТУ следует предусматривать только в разных уровнях.

На всю ширину полосы отвода устраиваются: защита пересекаемых трубопроводов и подземных коммуникаций; пересечения ВСМ подземными кабельными линиями связи.

Верх защитной трубы при подземном пересечении трубопроводами должен располагаться не менее чем на 3 м ниже головки рельса, а при наличии водоотводных сооружений — на 1,5 м ниже дна водоотводных сооружений или подошвы насыпи.

При проектировании пересечений ВСМ с коммуникациями необходимо также руководствоваться техническими условиями, полученными от владельцев этих коммуникаций.

Для предохранения ВСМ от размыва и затопления необходимо предусмотреть следующие работы:

- в выемках длиной более 400 м продольный профиль устраивать уклонами одного направления или уклонами в стороны начала и конца выемки с сопряжением их вертикальной кривой, при этом величина уклонов должна быть не менее 3 ‰;

- на подходах к мостам и трубам, а также при расположении ВСМ вдоль берегов рек и водохранилищ, учитывать, что возвышение бровки основной площадки земляного полотна над наивысшим уровнем воды при вероятности его превышения 1:300 или 0,33 % (с учетом подпора воды, ветрового нагона, наката волны на откос насыпи и ледовых явлений) должно быть не менее 0,9 м, а возвышение верхней отметки незатопляемых регуляционных сооружений и берм над этим уровнем — не менее 0,25 м.

Главные и приемо-отправочные пути у пассажирских платформ должны располагаться на площадке в продольном профиле

и на прямой в плане. На отдельных пунктах при отсутствии пассажирских платформ нормы проектирования продольного профиля и плана главных путей должны соответствовать нормам, установленным для главных путей на перегонах.

Станции следует располагать на горизонтальной площадке и на прямых участках пути. При этом разрешается размещение отдельных пунктов на уклонах не круче 1,5 ‰.

Условием обеспечения бесперебойности движения высокоскоростных поездов является предотвращение снежных и песчаных заносов. Например, по требованиям СТУ бровка основной площадки на участках, заносимых снегом, должна возвышаться не менее чем на 1,0 м над расчетным уровнем снежного покрова с вероятностью превышения 1:50 или 2 %.

Максимальный уклон на подъем в тоннелях в соответствии со СНиП 32-04-97 и СТУ не должен превышать $0,8i_{\max}$, где $i_{\max} = 24 ‰$.

Согласно СТН Ц-01—95 [52] перед *затяжными спусками*, при соответствующем обосновании следует проектировать участок пути с пологими уклонами длиной не менее 1,5 км для опробования тормозов в пути следования, особенно в зимнее время, когда возможно оледенение тормозных колодок. Этот участок следует проектировать в виде площадки или небольшого подъема по направлению движения в сторону затяжного спуска. В соответствии с ПТЭ [40] спуск считается затяжным, если его протяженность не менее 8 км при уклонах 8—10 ‰, не менее 6 км — при 10—14 ‰, не менее 5 км — при 14—17 ‰, не менее 4 км — при 17—20 ‰ и не менее 2 км — при 20 ‰ и более.

При проектировании ВСМ должны быть определены места вдоль пути, подверженные ежегодному воздействию сильных ветров (со скоростью 15 м/с и выше). В таких местах в проекте должны быть предусмотрены мероприятия по предотвращению риска опрокидывания и схода подвижного состава.

5.10. Трассирование ВСМ

Многолетняя проектно-изыскательская практика определила основные принципы и особенности трассирования железных дорог с учетом природных, социально-экономических и иных факторов.

Основные общие принципы и приемы трассирования. В процессе проектирования наиболее характерные участки трассы подразделяют по ряду признаков. В частности, в зависимости от соотношения руководящего (или иного ограничивающего) уклона и среднего уклона местности вдоль выбранного направления трассирования различают вольный ход и напряженный ход.

Вольным ходом называется участок трассы, где средний уклон местности меньше руководящего уклона, а *напряженным ходом* — при уклоне местности круче руководящего уклона или равном ему. В зависимости от использования попутных форм рельефа местности различают также следующие трассировочные ходы: «долинный» (по долине реки), «водораздельный» (вблизи и вдоль водораздела), «поперечно-водораздельный» (из долины одной реки через водораздел в долину другой реки) и «косогорный» (по косоугору между долиной и водоразделом).

На вольном ходу отсутствуют серьезные высотные препятствия, а могут присутствовать только контурные, обход которых определяется положением фиксированных точек. Основным принципом трассирования на участках вольного хода является укладка трассы по кратчайшему направлению. Каждый угол поворота в пределах вольного хода должен быть обоснован наличием какого-либо контурного или ситуационного препятствия (например, излучина реки или территория заповедной зоны).

Главным назначением напряженного хода является скорейшее преодоление трассой необходимой высоты при минимальных экономических затратах. Основным принципом трассирования на участках напряженного хода является укладка трассы с наиболее полным использованием руко-

водящего или иного ограничивающего уклона. На участках напряженного хода для укладки трассы с расчетной минимальной длиной (за исключением частных случаев, когда средний уклон местности равен руководящему уклону), необходимо использовать приемы искусственного развития (удлинения) линии. Эти приемы делятся на простые, которые имеют наибольшее распространение при проектировании ВСМ, и сложные.

К приемам простого развития трассы на участках напряженного хода относят так называемые *извилины* (односторонние или обратные кривые) с углами поворота до 90° и *вписывание в поперечный лог* с углами поворота до 180° .

К приемам сложного развития трассы на участках напряженного хода относятся: *захват трассы в боковую долину*, *петлеобразное* и *спиралеобразное развитие линии*. При сложном развитии трассы углы поворота превышают 180° , а иногда и 360° .

Проектируемая трасса железной дороги состоит, как правило, из совокупности тех или иных трассировочных решений, каждое из которых имеет свои преимущества, недостатки и особенности. Так, в пределах вольного хода меньше энергетические затраты на 1 км линии, но в сложных топографических условиях чрезмерное использование вольного хода приведет к значительному удлинению трассы. Долинный ход в большинстве случаев характеризуется небольшими продольными уклонами и минимальной суммой преодолеваемых высот. Однако при укладке трассы преимущественно по долине реки или по надпойменным террасам увеличивается длина трассы, возрастают число и размеры водопропускных сооружений, что приводит к удорожанию объекта строительства. К удорожанию ведет также необходимость возвышения бровки земляного полотна над наибольшим горизонтом высоких вод на подтопляемых участках и укрепления подтопляемой части земляного полотна.

Применение поперечно-водораздельных ходов сокращает длину линии, но увеличивает энергетические затраты на движение

поездов в связи с преодолением более значительной разности высот. В сложных топографических условиях иного конкурентоспособного варианта преодоления высотного препятствия часто не оказывается, так как тоннельные варианты требуют существенно больших затрат.

Основное преимущество водораздельных ходов — минимальное число и размеры водопропускных сооружений. Недостаток — возможное удлинение линии и трудности водоснабжения станций и населенных пунктов.

Наилучшая трасса проектируемой железной дороги, а следовательно, и наиболее рациональное сочетание трассировочных ходов выбираются на основе технико-экономического сравнения вариантов.

Специфика трассирования ВСМ. Основная цель сооружения ВСМ — обеспечение минимального времени нахождения пассажиров в пути следования. В связи с этим трассу желательнее проектировать по кратчайшему направлению между конечными пунктами. Основными препятствиями сокращения длины линии могут служить достаточно крупные населенные пункты с плотной застройкой, значительные водные препятствия, территории ценных заповедников и природных парков и т.п.

Для многих ВСМ, особенно построенных в последние годы, характерно очень большое число искусственных сооружений (мосты, виадуки, путепроводы и тоннели), при этом протяженность трассы на земляном полотне иногда не превышает нескольких процентов от общей протяженности трассы. Все пересечения ВСМ с железными и автомобильными дорогами, а также пешеходные переходы, скотопрогоны, проходы для миграции диких животных проектируют в разных уровнях.

По условиям защиты от шума наземную трассу ВСМ располагают на достаточно большом расстоянии от жилой застройки: как правило, от 250 до 1000 м, а при необходимости проектируют шумозащитные эк-

раны и галереи или располагают трассу в выемках.

На положение трассы ВСМ между конечными пунктами большое влияние оказывают результаты согласования заинтересованных сторон: администраций территорий, заказчиков, собственников земли и сооружений и т.п. В пределах крупных станций и узлов, особенно конечных пунктов, трассу ВСМ необходимо увязывать в единую сеть с другими видами транспорта: городским, пригородным и авиатранспортом. При этом дополнительного развития могут потребовать станционно-вокзальные комплексы, аэропорты и транспортное сообщение между ними.

5.11. Основные критерии оценки трассы ВСМ

Основными критериями оценки трассы ВСМ являются: обстоятельства социального характера, стоимостные, объемно-строительные и технико-эксплуатационные показатели, а также другие факторы, специфические для конкретной ВСМ.

К обстоятельствам социального характера можно отнести, например, общественное мнение жителей регионов и территорий, требования местных и региональных администраций, площади занятых ценных угодий, протяженность пересекаемых заповедных зон и т.п.

Определяющими часто оказываются объемно-строительные и стоимостные показатели, характеризующие эффективность и сроки сооружения объекта: объемы работ, стоимость и энергоемкость строительства, затраты на подвижной состав и оборудование, эксплуатационные расходы, доходы от эксплуатации и др.

Иногда варианты трассы существенно отличаются лишь по некоторым технико-эксплуатационным показателям, среди которых можно выделить следующие:

- длина варианта L , км;
- протяженность кривых, км и %;
- сумма углов поворота кривых в плане, град. всего и на 1 км длины линии;
- минимальный и средний радиус кривых, м;
- сумма преодолеваемых высот в каждом направлении, м;
- характеристика искусственных сооружений (мостов, тоннелей и др.), шт. и погонных метров.

В случае примерного равенства стоимостных, объемно-строительных и социально-значимых показателей, преимущество следует отдавать вариантам с меньшей длиной линии, с большими значениями минимального и среднего радиусов кривых, с меньшей протяженностью кривых и минимальной суммой преодолеваемых высот.

Глава 6

Железнодорожный путь для высокоскоростного движения, основные требования и технические решения

6.1. Основные требования к земляному полотну вновь сооружаемых ВСМ

К земляному полотну высокоскоростных железных дорог предъявляются повышенные требования с точки зрения его прочности, стабильности, минимальной деформируемости и долговечности.

Размеры поперечного сечения земляного полотна а, следовательно, объемы земляных работ при строительстве ВСМ, во многом определяются расстоянием между осями главных путей (междупутьем). В целях снижения аэродинамического воздействия друг на друга встречных поездов расстояние между осями главных путей на ВСМ увеличивают. На обычных железных дорогах оно составляет около 4 м (в России, например, 4,1 м), а на ВСМ принимается равным 4,7—4,8 м (в разных странах). При этом ширина основной площадки достигает 13 м и более. В качестве примера на *рис. 6.1* приведено поперечное сечение земляного полотна, верхнее строение пути и расположение опор контактной сети на ВСМ Мадрид — Барселона (Испания).

Земляное полотно высокоскоростных железных дорог устраивается в виде насыпей или выемок и включает в себя защитные слои, основное тело и водоотводные сооружения. Для сооружения земляного полотна на ВСМ применяют скальные, обломочные

и щебенистые грунты. К лучшим скальным грунтам относятся граниты, диориты, базальты и порфириты. Кроме указанных, можно применять глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции и песчаные.

Упругая осадка основной площадки земляного полотна под действием подвижной нагрузки не должна превышать 1,5 мм. Не допускается деформация основания балластной призмы вследствие морозного пучения и сезонных изменений, вызванных климатическими факторами: оттаивание — промерзание, увлажнение — высыхание и т.д. Технические требования к надежной работе полотна ВСМ обеспечиваются высоким качеством строительных работ, в частности, обязательной послойной отсыпкой и уплотнением грунта по всей ширине земляного полотна, а также постоянным контролем качества работ.

Сооружение земляного полотна ВСМ осуществляется с применением современных строительных и дорожных машин. Так, в комплект машин, в составе подразделений, осуществляющих отсыпку земляного полотна при строительстве ВСМ, входят бульдозеры разной мощности, скреперы, карьерные самосвалы и тягачи с автоприцепами-самосвалами, грейдеры, катки, включая вибрационные, экскаваторы и механические лопаты (*рис. 6.2*).

Если грунт основного тела земляного полотна насыпи или грунт на уровне основ-

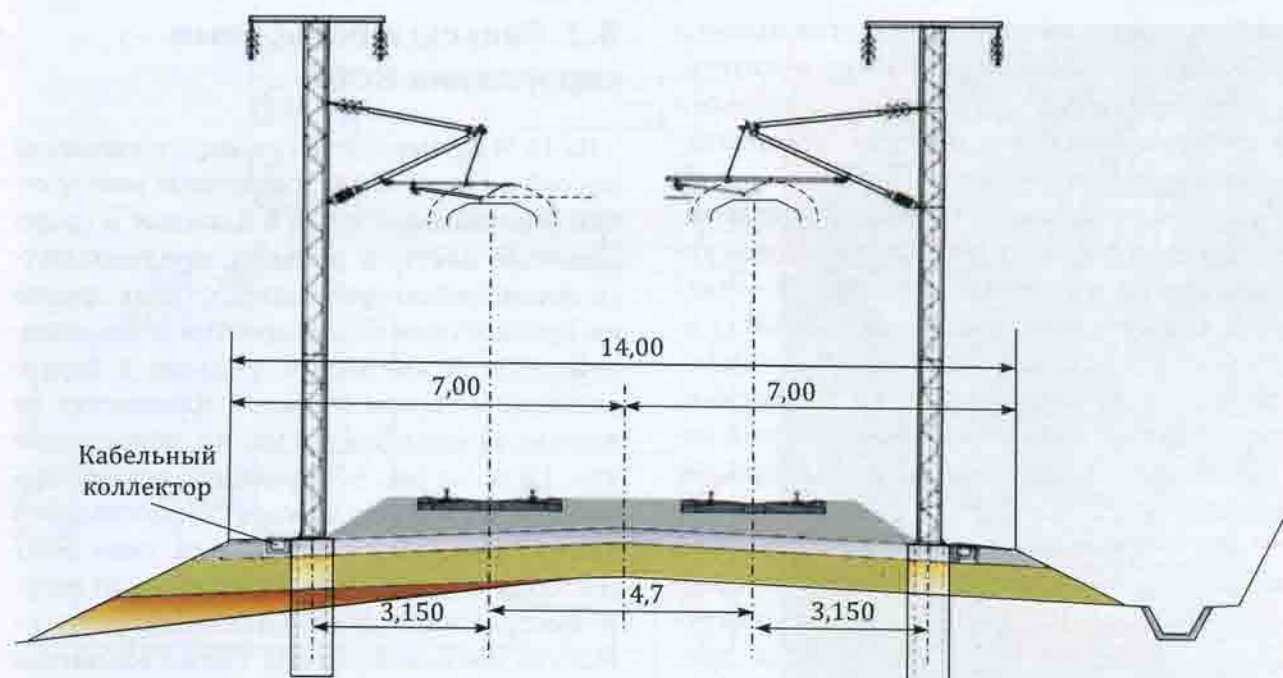


Рис. 6.1. Поперечное сечение земляного полотна, верхнее строение пути и расположение опор контактной сети ВСМ Мадрид — Барселона. Испания. 1991 г.

а



б



в



Рис. 6.2. Сооружение земляного полотна: а — общий вид строительных площадок на ВСМ Рона — Альпы (Франция, 90-е годы XX в.); б — укладка геотекстиля; в — укладка геосетки

ной площадки земляного полотна выемки не обладает требуемыми физико-механическими характеристиками, предъявляемыми к грунтам земляного полотна, то отсыпается защитный слой из несвязанных, непучинистых грунтов. На границе грунтов тела земляного полотна и защитного слоя укладывается геотекстиль (рис. 6.2, б) — тканый или нетканый водопроницаемый синтетический материал из полиэстера или полипропилена, скрепленный механическим, термическим и др. способами, который хорошо пропускает воду, но не пропускает мелкие частицы грунта. Геотекстиль не подвержен гниению, воздействию грибов и плесени, грызунов и насекомых, прорастанию корней. Идеален в качестве армирующего, разделяющего слоя, широко применяется в водоотводе и дренажных системах. Срок службы не менее 25 лет. Материал обеспечивает разделение грунтов земляного полотна и защитного слоя и улучшает дренирование воды. Для увеличения несущей способности грунтов земляного полотна возможна укладка двух слоев геотекстиля, а также комбинация геотекстиля с геосеткой (рис. 6.2, в) или геоячейкой. Геосетка — рулонный сетчатый материал из полимерных или синтетических нитей, покрытых защитным слоем, с одинаковыми отверстиями размером от 2,5 до 40 мм. Геоячейка — объемная сотовая конструкция из полимерных или синтетических лент, скрепленных между собой в шахматном порядке. В рабочем состоянии образует модульную ячеистую конструкцию. Материалы не подвержены гниению, воздействию кислот, щелочей. Срок службы не менее 50 лет. Используются в комбинации с другими геоматериалами. Если в основании насыпи залегают слабые грунты, то (при мощности их до 0,4 м) они удаляются и заменяются прочными грунтами. При невозможности удаления слабых грунтов могут быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие предотвращение осадки грунта в эксплуатационный период, например устройство свайно-ростверкового основания. Как крайняя мера — замена насыпи эстакадой.

6.2. Рельсы и рельсовые скрепления ВСМ

На ВСМ применяются рельсы с погонной массой не менее 60 кг, сваренные между собой (бесстыковой путь) в длинные и сверхдлинные плети. К рельсам, предъявляются повышенные требования с точки зрения их прочностных характеристик и прямолинейности. Искривление рельсов в вертикальной и горизонтальной плоскостях не должно превышать 0,3 мм на базе измерения 1,5 м. На рис. 6.3 приведен рекомендованный МСЖД для высокоскоростных железных дорог профиль рельса типа 60E1 (ГШС60) массой 60,3 кг на погонный метр. В России на линии Санкт-Петербург — Москва уложены рельсы типа Р65 массой 64,88 кг на погонный метр (ГОСТ Р51685—2000).

На ВСМ применяют бесстыковой путь температурно-напряженного типа, не требующий разрядки температурных напряжений¹. Сварка рельсов в плети (как правило, длиной не менее 800 м) осуществляется электроконтактным способом на рельсосварочных предприятиях с тщательным многоуровневым контролем качества сварных швов. Длинномерные плети доставляются к месту укладки в путь поездами из специальных платформ (рис. 6.4).

Непосредственно на месте укладки, при необходимости сварки между собой рельсовых плетей или отдельных звеньев применяют алюминотермитную сварку² (рис. 6.5, а) или контактную электросварку (рис. 6.5, б). При алюминотермитной сварке на стык двух соединяемых рельсов устанавливают тигель. Концы рельсов предварительно разогревают газовой го-

¹ Напряжения в рельсовой плети под действием температурных сил, возникающих при изменении температуры рельсов по сравнению с той, при которой производилось их закрепление на постоянный режим эксплуатации.

² Алюминотермия — химическая реакция восстановления окислов металлов алюминием, открыта русским химиком Н.Н. Бекетовым (1859). В результате реакции в короткий промежуток времени выделяется большое количество тепла (t до 3000 °С) и образуется расплавленный металл.

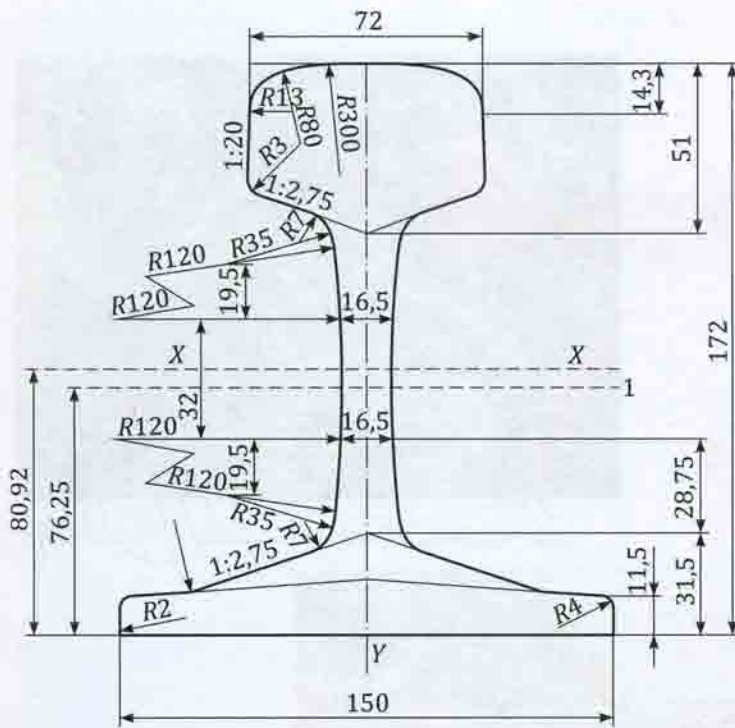


Рис. 6.3. Профиль рельса типа 60E1 (UIC60) с конструктивными размерами (масса 60,3 кг на погонный метр)



Рис. 6.4. Перевозка рельсовых плетей к месту укладки

релкой. В тигель засыпают термит — пиротехническую смесь (в случае алюминотермитной сварки — алюминиевый порошок (пудра) и оксид железа) и поджигают термитной спичкой. В процессе горения термита концы рельсов разогреваются до температуры плавления металла и с помощью специальных зажимов и гидравлического домкрата сжимаются, формируя шов. После остывания рельсы в зоне сварного шва шлифуются для образования гладкой поверхности катания.

Для контактной электросварки используют различные передвижные установки, которые захватывают концы рельсовых плетей специальными зажимами, сжимают их гидравлическими устройствами с усилием порядка 150 кН и, пропуская через стык электрический ток, вызывают нагрев зоны контакта до перехода металла в жидкое состояние и образования сварного шва. В некоторых сварочных устройствах, например роботизированном комплексе АРТ 1500 компании Plasser & Theurer

(Австрия) вся процедура выполняется под контролем и управлением компьютерной системы. После охлаждения шва эта же машина производит шлифовку концов рельсов в зоне шва (см. рис. 6.5, б).

Как и на обычных железных дорогах, на ВСМ соединение рельсов с подрельсовым основанием — шпалами или железобетонными плитами, осуществляется рельсовыми скреплениями. На высокоскоростных магистралях они должны удовлетворять требованиям обеспечения нормируемой упругой связи (степени прижатия) рельсов с подрельсовым основанием и демпфирования силовых воздействий в системе «колесо—рельс», быть надежными, долговечными, пригодными к механизированной постановке в путь, удобными при обслуживании и ремонте пути.

К настоящему времени в мире на железных дорогах применяются различные типы упругих скреплений (рис. 6.6), широкое распространение получили скрепления с прутковыми клеммами: безболтовое

а



б



в



Рис. 6.5. Сварка рельсовых плетей: а — алюминотермитная сварка; б — контактная электросварка с использованием роботизированного комплекса АРТ 1500 компании Plasser & Theurer (общий вид); в — рабочий орган комплекса АРТ 1500 в процессе сварки

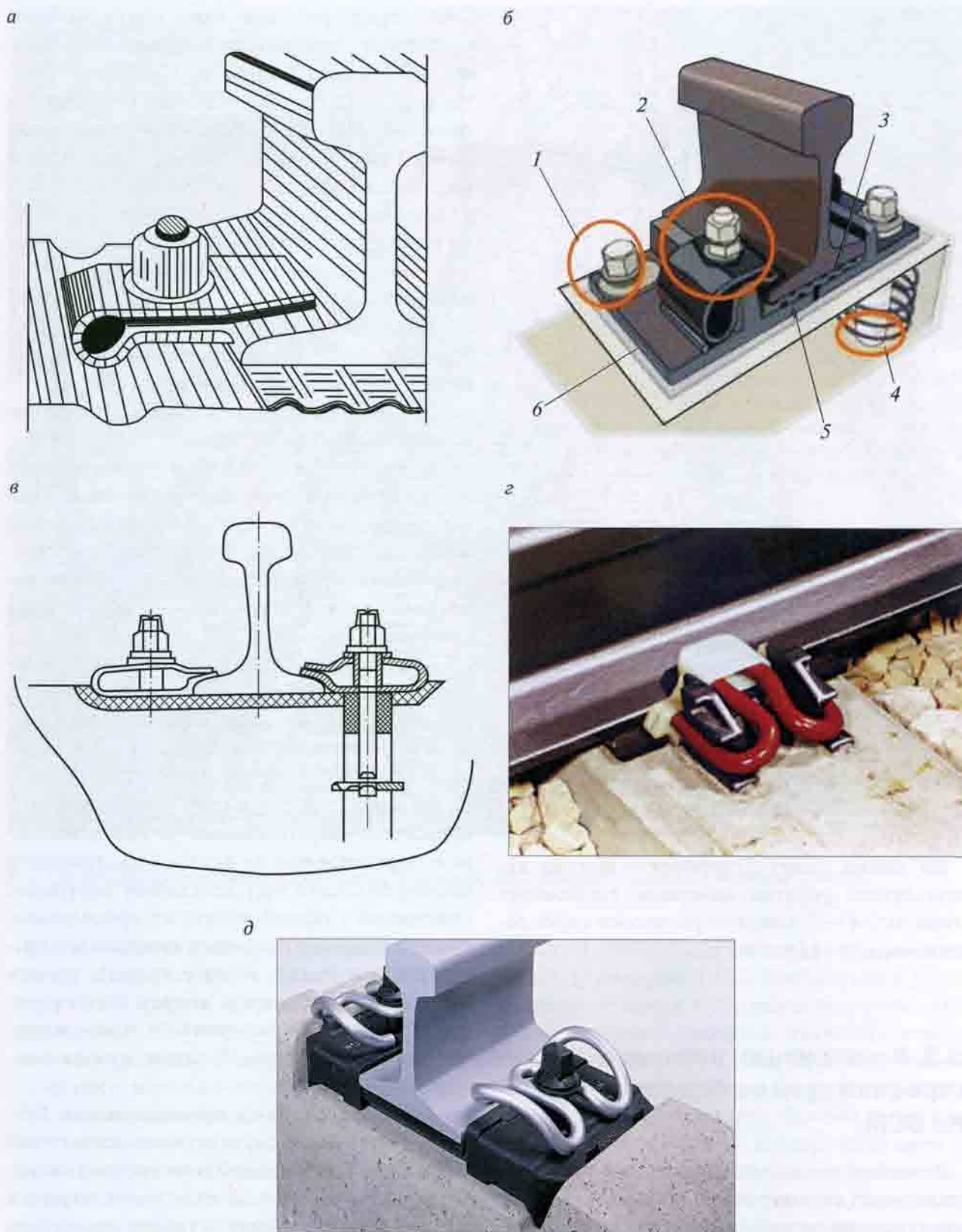


Рис. 6.6. Упругие рельсовые крепления для железобетонных шпал: а — двойное упругое крепление RN; б — регулируемое крепление линий Синкансэн (тип 8): 1 — закладной болт; 2 — упругая пластинчатая клемма; 3 — амортизирующая прокладка; 4 — дюбель (закладное крепление болта); 5 — подкладка; 6 — изолирующая прокладка; в — подкладочное крепление типа БПУ; г — анкерное крепление «Pandrol»; д — крепление «Vossloh»

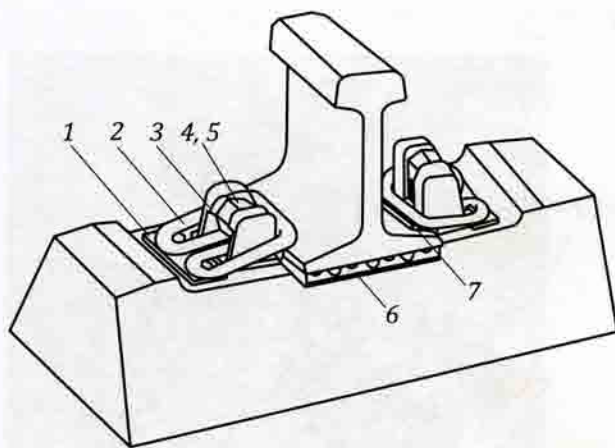


Рис. 6.7. Схематическое изображение анкерного рельсового крепления APC-4: 1 — подклемник; 2 — клемма; 3 — анкер; 4 — регулятор; 5 — фиксатор; 6 — резиновая прокладка (тип ЦП-204/APC); 7 — изолирующий уголок

анкерное компании «Пандрол» («Pandrol»)¹ и шурупно-дюбельные компании «Фоссло» («Vossloh»)². Прутковые клеммы обладают высокой прочностью и жесткостью, надежны, сохраняют стабильность колеи, относительно защищены от проявлений вандализма.

Зафиксированный рекорд скорости движения для электропоездов — 574,8 км/ч (2007 г. Франция) был установлен на железнодорожном пути со креплениями типа «Pandrol-Fastklip».

На линии Санкт-Петербург — Москва используется упругое анкерное крепление типа APC-4 — (анкерное рельсовое крепление, модель 4) (рис. 6.7).

6.3. Конструкции верхнего строения пути на балласте

В настоящее время на высокоскоростных железных дорогах нашли применение две конструкции верхнего строения пути: рельсошпальная решетка с железобетонными шпалами, уложенная на балласт и железобетонное подрельсовое основание.

¹ Разработано британской компанией Pandrol UK Limited.

² Разработано германской компанией Vossloh AG.

При традиционном типе подрельсового основания с использованием балласта рельсы укладываются на железобетонные шпалы (рис. 6.8). Рельсошпальная решетка укладывается на балластный слой толщиной 35—40 см из щебня (гранит, базальт, диабаз) с размером фракций 25—60 мм.

Основные преимущества конструкции пути на балласте заключаются в следующем:

- относительно низкие расходы на строительство;
- большая упругость;
- высокая ремонтпригодность при относительно низких затратах;
- хорошее поглощение шума, генерируемого подвижным составом.

Однако такой путь имеет и недостатки:

- с течением времени в балластной призме накапливаются остаточные деформации в вертикальной и горизонтальной плоскостях, причем происходит это более интенсивно, чем в конструкциях пути с монолитным основанием;

- меньшее, чем при монолитном основании, продольное и боковое сопротивление перемещению под действием сил взаимодействия пути и подвижного состава и температурных сил растяжения и сжатия;

- подъем частиц балласта при высоких скоростях (вертикальные и горизонтальные перемещения на десятки сантиметров частиц балласта под действием вибраций; воздушной ударной волны, от проходящего поезда; ударов от падения смерзшихся кусков снега и льда в зимнее время), что может вызвать серьезные повреждения рельсов, устройств и приборов СЦБ, колес и других элементов ходовой части, кузова подвижного состава;

- уменьшение водопроницаемости балласта в процессе службы, вызываемая его загрязнением, включением продуктов истирания балласта и за счет инфильтрации мелких частиц грунта из тела земляного полотна;

- наличие балластной призмы приводит к увеличению диаметра тоннелей и требует устройства более высоких платформ для посадки и высадки пассажиров из вагонов.



Рис. 6.8. Традиционный путь на балласте и шпалах. ВСМ Мадрид — Севилья. Испания. 1991 г.

В целях предотвращения подъема балласта под воздействием вибрации, аэродинамических и других ударов, практикуют использование покрытия балластной призмы матами из резины, пластика, вяжущими материалами, металлической сеткой (рис. 6.9).

На высокоскоростных линиях возникают более сложные, чем при обычных скоростях процессы взаимодействия пути и подвижного состава. В зоне контакта колеса и рельса при наличии неровностей образуются высокочастотные колебания (до 5000 Гц), которые передаются подрельсовому основанию и вызывают его расстройствa, в частности происходит интенсивное истирание балласта. Длинные неровности (20—50 м

и более) возбуждают низкочастотные колебания (примерно 1 Гц), проявляются резонансные явления в подвижном составе, что также ухудшает процессы взаимодействия. Существенная роль в обеспечении стабильности пути принадлежит балластному слою. Кроме этого, от толщины балластного слоя зависит упругость всей конструкции пути.

Шпалы укладываются на слой щебня толщиной 35—40 см, как правило, состоящий из фракций 25—60 мм. Под щебнем устраивается подушка толщиной не менее 15 см из песчано-гравийной смеси или щебня фракции 5—25 мм. Вместо подушки может быть уложен защитный слой из полимерных материалов. Плечо балластной призмы —



Рис. 6.9. Путь на шпалах и балласте, прикрытый резиновыми сетчатыми матами. ВСМ. Япония

не менее 45 см, заложение откосов 1:1,5 (рис. 6.10).

Особенностью устройства балластных призм на ВСМ является обязательная укладка, кроме подбалластного слоя, защитного слоя или геоматериалов. Защитный слой выполняет две функции: во-первых,

зачищает балласт от загрязнения частицами грунта от земляного полотна и, во-вторых, предупреждает морозное пучение нижележащих слоев земляного полотна. Защитный слой укладывают из непучинистых дренирующих грунтов (крупнообломочных с песчаным заполнителем, пес-

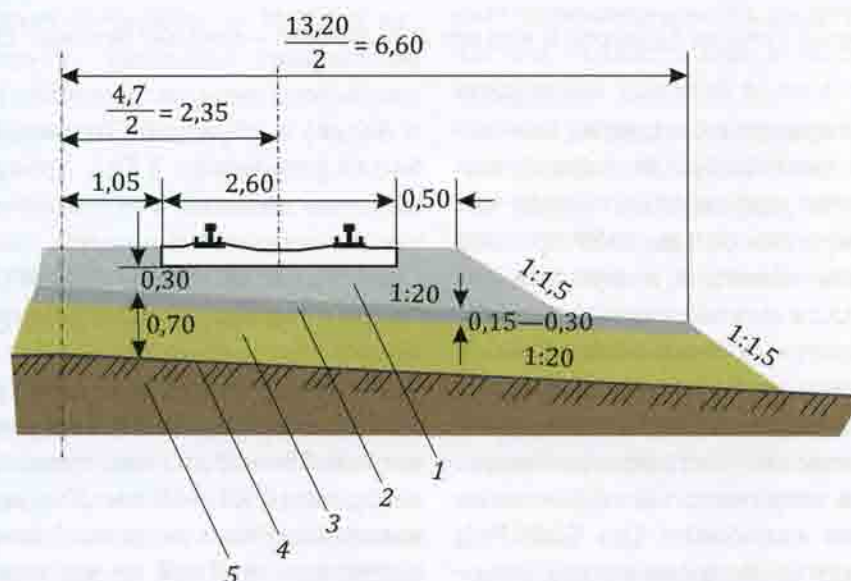


Рис. 6.10. Конструкция балластной призмы и основания высокоскоростного железнодорожного пути на линиях Западной Европы: 1 — балласт; 2 — промежуточный слой; 3 — противоморозный защитный слой; 4 — основание; 5 — земляное полотно

ков — гравелистых крупных и средней крупности). Толщина слоя определяется расчетами, в том числе — теплотехническим, и должна быть не менее 0,8—1,0 м для суглинков и глин и 0,5—0,7 м — для супесей. Коэффициент уплотнения не менее 1,0 для насыпей и не менее 0,98 — для выемок.

Под защитный слой в необходимых случаях укладывают теплоизолирующий материал (пенополистирол), а поверхность неукрепленных глинистых грунтов укрывают геотекстилем и гидроизоляционными пленками по всей ширине земляного полотна. Откосы и обочины защитного слоя, отсыпанного из песков, укрепляют гравием или щебнем толщиной 0,15 м от выдувания и размыва.

Для увеличения несущей способности основной площадки земляного полотна на европейских железных дорогах, в ряде случаев, под балластом устраивают водонепроницаемый слой асфальта толщиной 5—8 см, для обеспечения равномерного рас-

пределения нагрузок толщину увеличивают до 15—20 см. Иногда применяют грунтобетонные подушки.

При строительстве ВСМ используют механизированные технологии укладки балластного слоя специальными машинами для равномерного распределения слоя по поверхности основной площадки земляного полотна, при постоянном контроле его толщины (рис. 6.11; 6.12).

На балластном слое размещают подрельсовое основание, чаще всего в виде железобетонных шпал. Шпалы могут быть типовые стандартные (рис. 6.13) в виде цельнобрусковых конструкций (массой порядка 250 кг), специальные усиленные шпалы с увеличенными размерами опорных частей (массой 300—400 кг) и двухблочные шпалы.

За рубежом разработаны специальные конструкции шпал для высокоскоростных линий. В Германии в дополнение к стандартным шпалам типа В70 укладывают шпалы В75 и В90, имеющие увеличенную площадь



Рис. 6.11. Механизированная укладка балластного слоя на строительстве ВСМ Мадрид — Севилья. Испания. 1990 г.



Рис. 6.12. Участок будущей ВСМ с уложенным балластным слоем, подготовленный для раскладки шпал. Испания. 2000 г.

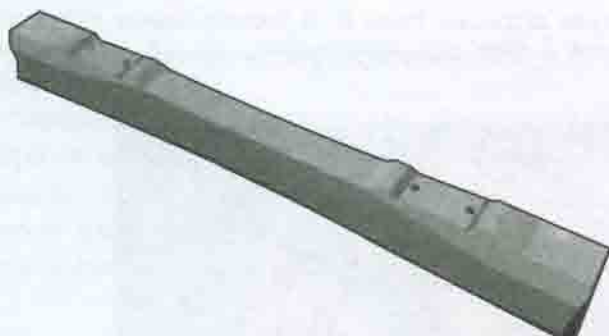


Рис. 6.13. Типовая стандартная железобетонная шпала

опоры шпалы. Шпалы типа В70 изготавливаются предварительно напряженными (рис. 6.14), их достоинством является большая гибкость, они имеют длительный срок надежной эксплуатации, обслуживаются по стандартным техническим регламентам. На прямых участках укладывается 1667 шпал, в кривых — 1900.

На ВСМ Франции и Испании нашли применение железобетонные двухблочные шпалы (рис. 6.15), блоки которых соединены стержнями (прутьями арматуры, бетон в центральной части шпалы отсутствует). Та-



Рис. 6.14. Путь со шпалами типа В70. Германия

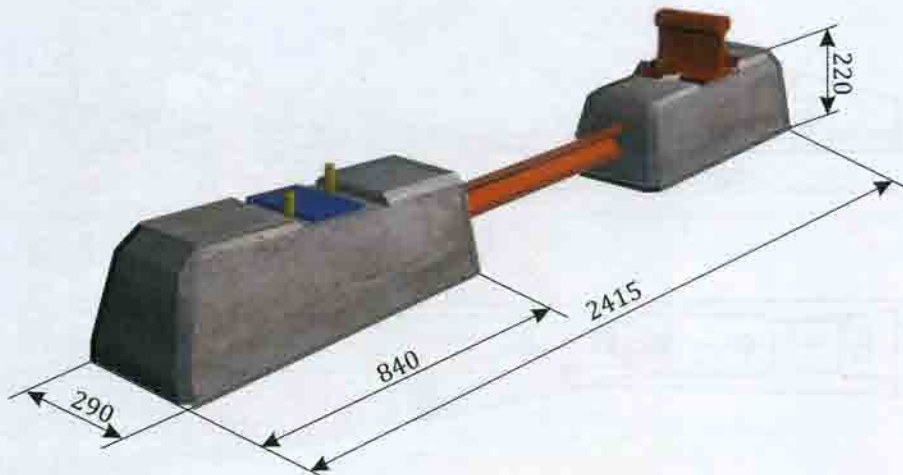


Рис. 6.15. Шпала типа В450 для высокоскоростных железнодорожных магистралей. Франция

кие шпалы применены на ВСМ «Восток» и др. (Франция). Эти шпалы (рис. 6.16) под подвижной нагрузкой хорошо работают на изгиб, обеспечивают стабильность ширины колеи (эпюра укладки 1700/1900).

По российским нормам предусматривается укладка стандартных шпал Ш1-1 (рис. 6.17, а) с эпюрой 1840 шт./км в пря-

мых частях пути и 2000 шт./км в кривых. Кроме того разработана конструкция шпалы ШСТ-1 массой 350 кг с увеличенными размерами при эпюре не менее 1760 шт./км (рис. 6.17, б).

В настоящее время шпалы Ш1-1 выпускаются по ТУ МПС РФ из тяжелого бетона класса по прочности В40 (М500). Марка бе-



Рис. 6.16. Путь с двухблочными шпалами. ВСМ «Восток». Франция

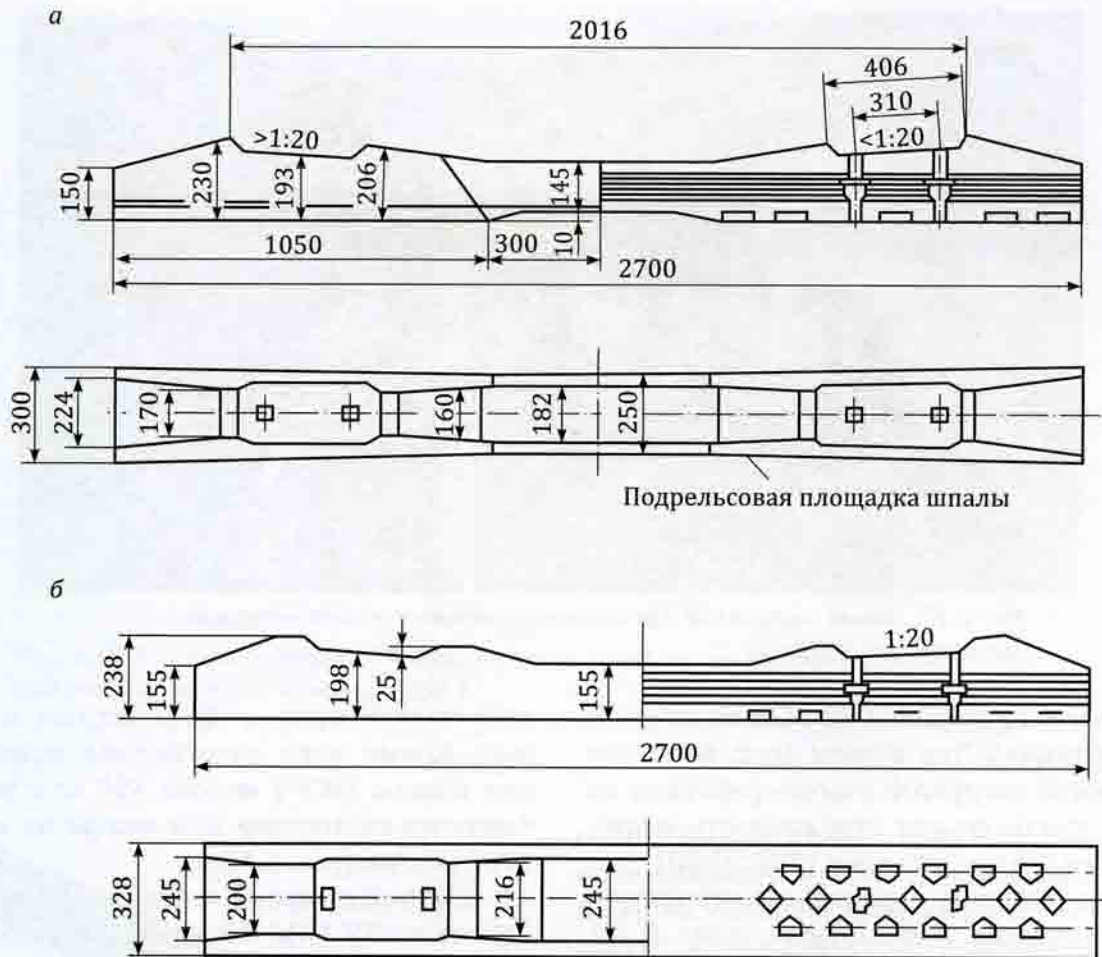


Рис. 6.17. Железобетонные шпалы: а — стандартные типа Ш1-1 (масса 250 кг); б — утяжеленного типа Ш1-ТС (масса 350 кг). Россия

тона по морозостойкости должна быть не ниже F200 ($M_{pз}200$). В качестве арматуры применяется стальная высокопрочная проволока периодического профиля диаметром 3 мм. Номинальное число проволок в шпале 44, каждая из них натягивается с усилием 8,1 кН. Железобетонные шпалы изготавливаются на специальных заводах с высоким уровнем механизации производства при постоянном пооперационном контроле и тщательной проверке качества готовых шпал.

При строительстве ВСМ осуществляется механизированная раскладка шпал со строго заданным интервалом. В частности, используются специальные машины-погрузчики на рельсовом ходу, передвигающиеся по длинномерным сварным рельсовым плетям будущего пути, временно уложенным на плечо балластной призмы

(рис. 6.18, а); используется также крановое оборудование со специальными кассетами, позволяющими поднимать и перемещать сразу несколько шпал (рис. 6.18, б).

Подъем и передвижка длинномерных рельсовых плетей, доставленных к месту укладки, на шпалы или плитное основание при строительстве ВСМ производится специальными машинами (рис. 6.19, а, б). После передвижки рельсов на шпалы производится механизированное закрепление их с помощью креплений (рис. 6.20).

Как правило, после укладки и закрепления рельсов на шпалах осуществляется дополнительная укладка балласта с доведением толщины его слоя до проектной отметки. Подвозку и распределение балласта производят с помощью хопперов-дозаторов. Эти вагоны, оснащенные специальными разгрузочными люками, позволяют, при

а



б



Рис. 6.18. Раскладка шпал на строительстве ВСМ: а — с использованием специальной машины; б — крановым оборудованием на экскаваторе с применением погружных кассет. Испания



Рис. 6.19. Варианты применения различных машин при укладке (надвижке) рельсовых плетей на шпалы



Рис. 6.20. Механизированное закрепление рельсов на шпалах



Рис. 6.21. Выгрузка балласта из хоппера-дозатора на путь

а



б



Рис. 6.22. Выправка и рихтовка пути при постановке его в проектное положение с подбивкой балласта: а — ход выправочно-бивочно-рихтовочной машины (ВПР); б — рабочие органы



Рис. 6.23. Готовый к эксплуатации участок пути ВСМ на балласте и шпалах. Франция

движении поезда с рабочей скоростью производить выгрузку на заданном отрезке пути, определенным проектом объема балласта (рис. 6.21), после чего производится сплошная подбивка и рихтовка пути для установки его в проектное положение (рис. 6.22, 6.23).

6.4. Безбалластные конструкции железнодорожного пути ВСМ

У распространенных конструкций пути на балластном основании именно балласт является самым слабым звеном. При сжатии под воздействием подвижного состава в местах соприкосновения (соударения и трения) частиц балласта происходит их разрушение, истирание, что приводит к появлению внутреннего загрязнения мелки-

ми частицами. Помимо этого, балласт подвержен загрязнению извне. Дополнительные усилия и средства требуются для уничтожения растительности, которая активно развивается в балластном слое. Надо заметить, что выступающие за сохранение окружающей среды уполномоченные государственные органы и общественные структуры все активнее противодействуют использованию гербицидов для устранения растительности на железнодорожных путях. Существующий способ использования специальных приборов теплового воздействия на растительность, на первый взгляд экологически чистый, требует больших затрат энергии, что, в конечном счете, также вредно для окружающей среды.

Альтернативой пути на балласте является безбалластный путь, укладываемый на железобетонных блоках, (сборных, монолитных плит). Такой путь реализовывается в виде оснований, опирающихся на

жесткие конструкции (в туннелях, на эстакадах, мостах) или на земляное полотно, а также сплошные монолитные слои бетона. Благодаря массовому заводскому производству сборных компонентов конструкции безбалластного пути, обеспечивается как высокое качество бетона, так и необходимая точность изготовления. Бетонные блоки основания сконструированы так, чтобы эффективно работать вместе с применяемыми системами скреплений и элементами анкерного крепления основания.

Первая в мире ВСМ Токио — Осака (515,4 км), построенная в 1964 г., на всем своем протяжении имеет путь на шпалах, уложенных на балласт. Уже первые месяцы эксплуатации этой магистрали показали сложность поддержания заданных геометрических параметров пути для движения поездов с максимальной скоростью 200 км/ч. Каждую ночь проводится большой объем работ по выправке пути, иногда на протяжении десятков километров.

Японские инженеры и ученые обратились к изучению имевшегося в мире опыта строительства и эксплуатации пути без балласта. За несколько лет была создана пригодная к эксплуатации на высокоскоростных магистралях конструкция пути на плитном основании, а чуть позже — в 70-х годах, еще одна конструкция безбалластного пути на твердом основании с упругими заменяемыми шпалами.

На первом участке ВСМ «Санъё» Син-Осака — Окаяма (160,9 км), введенном в эксплуатацию в марте 1972 г., было уложено 8 км безбалластного пути, из них около 6 км — на плитном основании, остальные — с упругими шпалами. На втором участке этой ВСМ (общая длина 392,8 км, открыт в марте 1985 г.) 273 км пути были выполнены без балласта, причем — только на плитах. Как видно на рис. 6.24, безбалластный путь стал на японских ВСМ доминирующим, причем конструкция пути на твердом основании с упругими шпалами значительного распространения не получила.

Использование безбалластных конструкций пути на японской ВСМ «Санъё» и тех

ВСМ, что были построены к востоку от Токио (Восточная японская железнодорожная компания), предопределило также то, что в отличие от первой ВСМ — «Токайдо» они прокладывались в более сложных условиях горной местности и имеют большее количество искусственных сооружений. Так, на первой ВСМ Токио — Осака из 515,4 км трассы около 234 км (45,9 % от общей протяженности) составляет путь на искусственных сооружениях, из них 170 км — на мостах, виадуках и путепроводах. Рельсовый путь японской ВСМ «Тохоку» (496 км) между городами Токио и Мориока практически полностью уложен на искусственных сооружениях, суммарная длина которых составляет почти 94 % от общей протяженности магистрали.

Сегодня многие специалисты признают, что на мостах, путепроводах, виадуках и в туннелях по ряду причин целесообразно укладывать безбалластные конструкции пути. При этом, если на трассе ВСМ протяженность искусственных сооружений велика то, скорее всего, и в целом на всем протяжении ВСМ целесообразно использовать безбалластные конструкции. Японские специалисты утверждают, что безбалластный путь обходится при строительстве примерно на 30 % дороже, чем путь с рельсошпальной решеткой, уложенной на балласт. Однако, по их мнению, примерно через 8—9 лет после начала эксплуатации ВСМ суммарные затраты на строительство и эксплуатацию пути на балласте начинают превосходить таковые для пути на плитном основании (рис. 6.25).

На рубеже XX—XXI столетий безбалластный путь получил значительное распространение в Германии, а в последние годы и в КНР, где (в основном на примере германского опыта) на плитном основании построены несколько тыс. км путей высокоскоростных железнодорожных магистралей.

Тем не менее, во Франции — родоначальнице высокоскоростного железнодорожного движения в Европе, по-прежнему концепция использования пути на балласте является доминирующей. Начиная с первой ВСМ Париж — Лион и до настоящего вре-

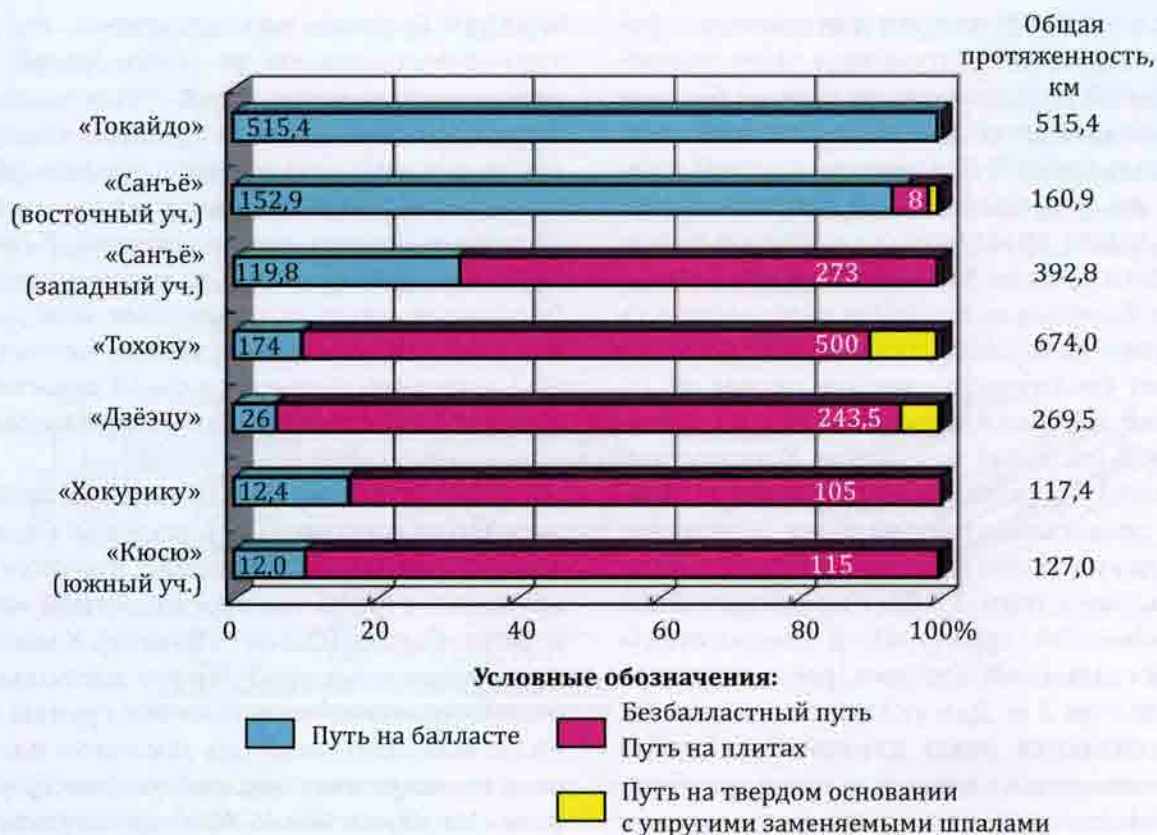


Рис. 6.24. Соотношение пути на балласте и на плитном основании на японских ВСМ. Абсолютное значение длины участков пути дано в км. Для участков безбалластного пути приведена общая протяженность без разделения пути на плитном основании и на твердом основании с упругими заменяемыми шпалами

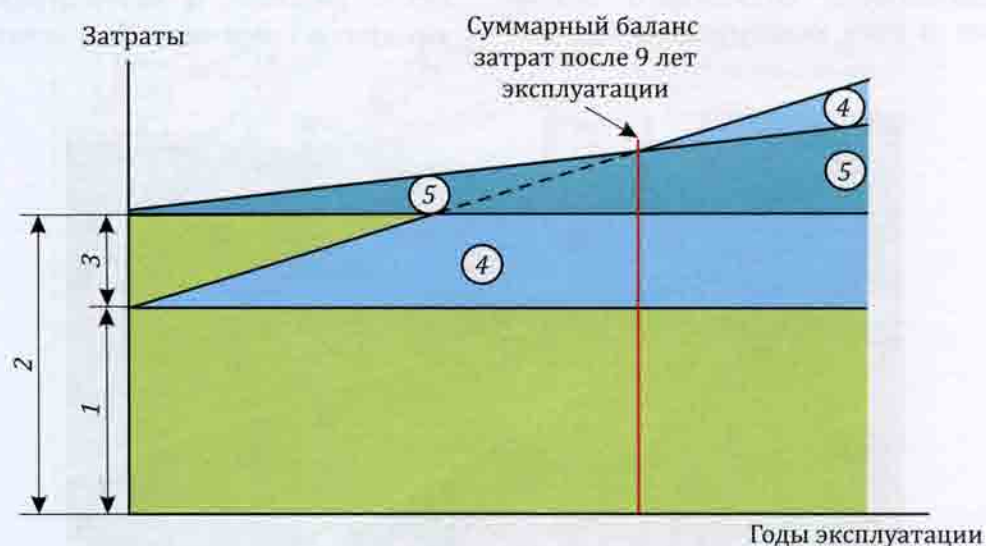


Рис. 6.25. Соотношение затрат на строительство и эксплуатацию разных конструкций пути: 1 — на строительство пути на балласте; 2 — на строительство безбалластного пути; 3 — разница в затратах на строительство пути на балласте и безбалластного; 4 — на обслуживание пути на балласте; 5 — обслуживание безбалластного пути

мени в этой стране пути для высокоскоростного движения строятся в виде рельсошпальной решетки, уложенной на балласт с использованием моноблочных или двухблочных шпал. В Испании, вышедшей в Европе на первое место по протяженности ВСМ, также предпочтение отдается конструкциям пути на балласте.

При блочных основаниях равномерность нагрузки на балласт достигается не только за счет увеличения площади опоры шпал-лежней на балласт, но и за счет их повышенной изгибной жесткости. Конструкция лежневой шпалы, разработанная в Японии, представляет собой раму, образованную двумя продольными железобетонными балками длиной 12 м с предварительно напряженной арматурой и соединительными стальными трубами, расположенными с шагом 3 м. Для укладки в кривых изготавливаются рамы длиной 6 м. Рельсы прикрепляются с помощью креплений типа «Pandrol» и имеют одинаковые условия опирания по всей длине.

Рамные шпалы-лежни были разработаны и в Австрии (тип RS95). Продольные балки объединяют две шпалы, имеют длину 0,95 м и ширину 0,4 м. Конструкция обеспечивает хорошую равномерность передачи давления от подвижного состава на балласт. В этих конструкциях балласт

заменен бетоном или асфальтом, т.е. материалом, обладающим очень малой интенсивностью накопления остаточных деформаций. Необходимая при этом эластичность для системы «колесо—рельс» обеспечивается упругими прокладками между рельсом и шпалой или под шпалой. В принципе эти конструкции представляют забетонированные моноблочные или двухблочные шпалы с обеспечением необходимой упругости рельсошпальной решетки и достаточной стабильности подрельсового основания.

Исторически широкое внедрение безбалластного пути (рис. 6.26) началось в Японии в 60—70-е годы XX столетия в процессе сооружения второй высокоскоростной магистрали «Санъё» (Осака — Хаката). К настоящему времени в этой стране наибольшее распространение получили обе группы монолитных оснований (на земляном полотне и на искусственных сооружениях): уложены на длине более 3000 км высокоскоростных железнодорожных путей.

Одна из распространенных в Японии конструкций безбалластного пути представляет собой плиты или плиты-рамы из предварительно напряженного железобетона, уложенные на упрочненное цементом земляное полотно, и зафиксированные цилиндрическими ограничителями переме-



Рис. 6.26. Безбалластный путь японских ВСМ на плитном основании

щений — «стопорами» для предотвращения продольного и поперечного смещения (рис. 6.27). При монтаже в зазоры под плитами и между ними под давлением нагнетается асфальтобетонный раствор. Асфальтобетон — материал, который получается в результате уплотнения специально рассчитанной и тщательно приготовлен-

ной при соответствующей температуре смеси щебня, природного или дробленого песка, минерального порошка и нефтяного битума. Масса одной плиты — около 5 т. И на искусственных сооружениях, и на земляном полотне применяются одинаковые конструкции плит или плит-рам (рис. 6.28, 6.29, 6.30).

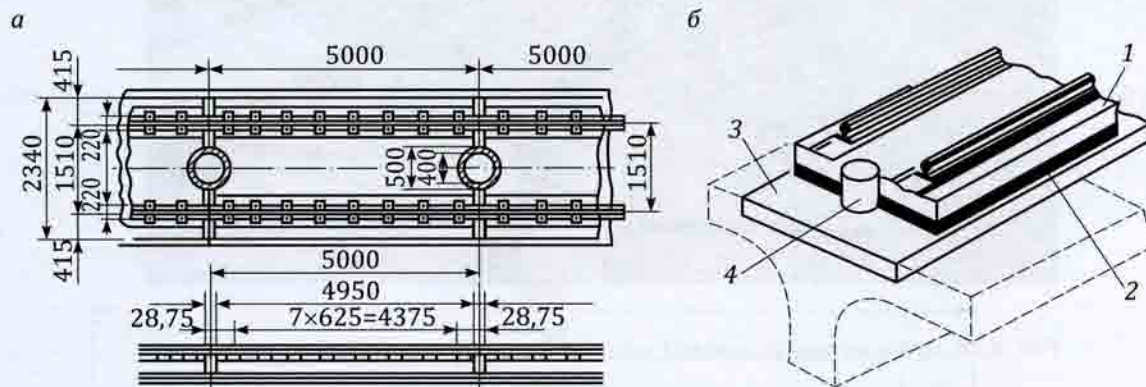


Рис. 6.27. Подрельсовое основание первоначального типа из сборных плит, уложенных на цементобитумном растворе на ВСМ «Санъё» (Япония): а — основные размеры плиты; б — схематический вид устройства пути на эстакаде: 1 — бетонная плита; 2 — слой цементобитумного раствора; 3 — нижняя плита (штриховыми линиями показано конструктивное решение для эстакад); 4 — ограничитель перемещений («стопор»)

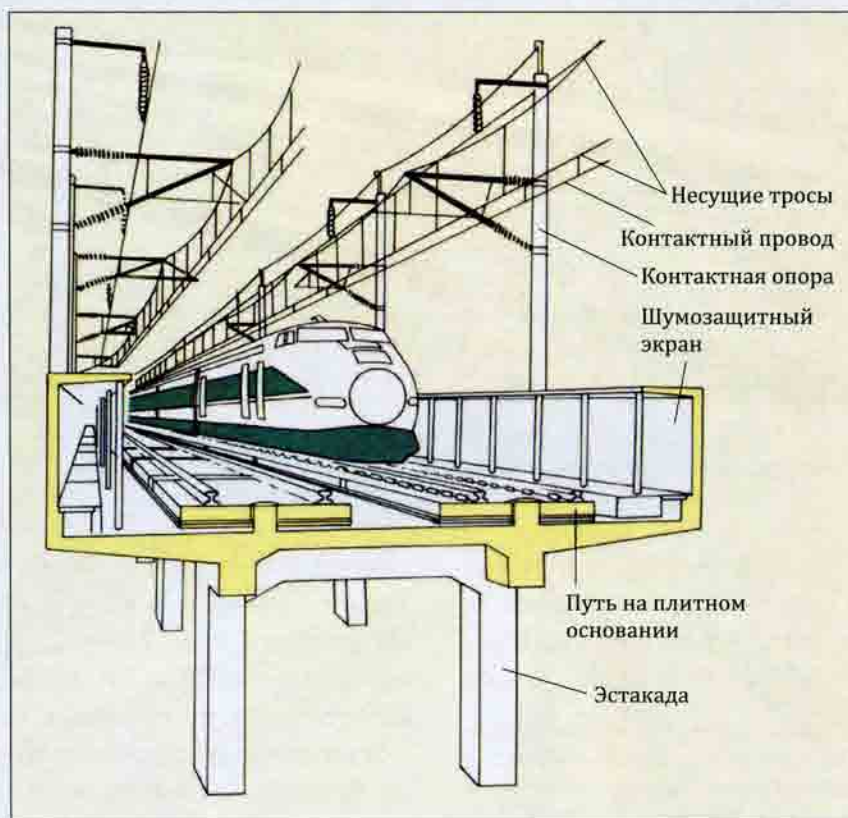


Рис. 6.28. Конструкция пути Синкансэн на плитном основании на эстакаде



Рис. 6.29. Путь на плитах-рамах на ВСМ Кюсю. Япония. 2010 г.



Рис. 6.30. Станционные пути на плитах-рамах. ВСМ Кюсю. Япония. 2010 г.

В ряде стран получил распространение безбалластный путь с использованием в конструкции верхнего строения «RHEDA-2000»¹ (рис. 6.31), имеющей двухблочное

¹ Наименование конструкции дано по названию станции Реда на железнодорожной линии Билефельд — Хамм в Германии, где она была впервые испытана в 1972 г. Цифра 2000 — год, когда современная конструкция этого пути была впервые введена в коммерческую эксплуатацию на ВСМ Эрфурт — Галле, ФРГ.

основание, надежно встроенное в монолитную бетонную плиту (рис. 6.31). Такие магистрали проложены, например, в Германии (рис. 6.32); в Нидерландах (рис. 6.33); на эстакадах, на земляном полотне и т.д.

Усиленная многорешетчатая ферма между бетонными блоками основания — результат многолетних разработок — полностью обеспечивает устойчивость при пере-

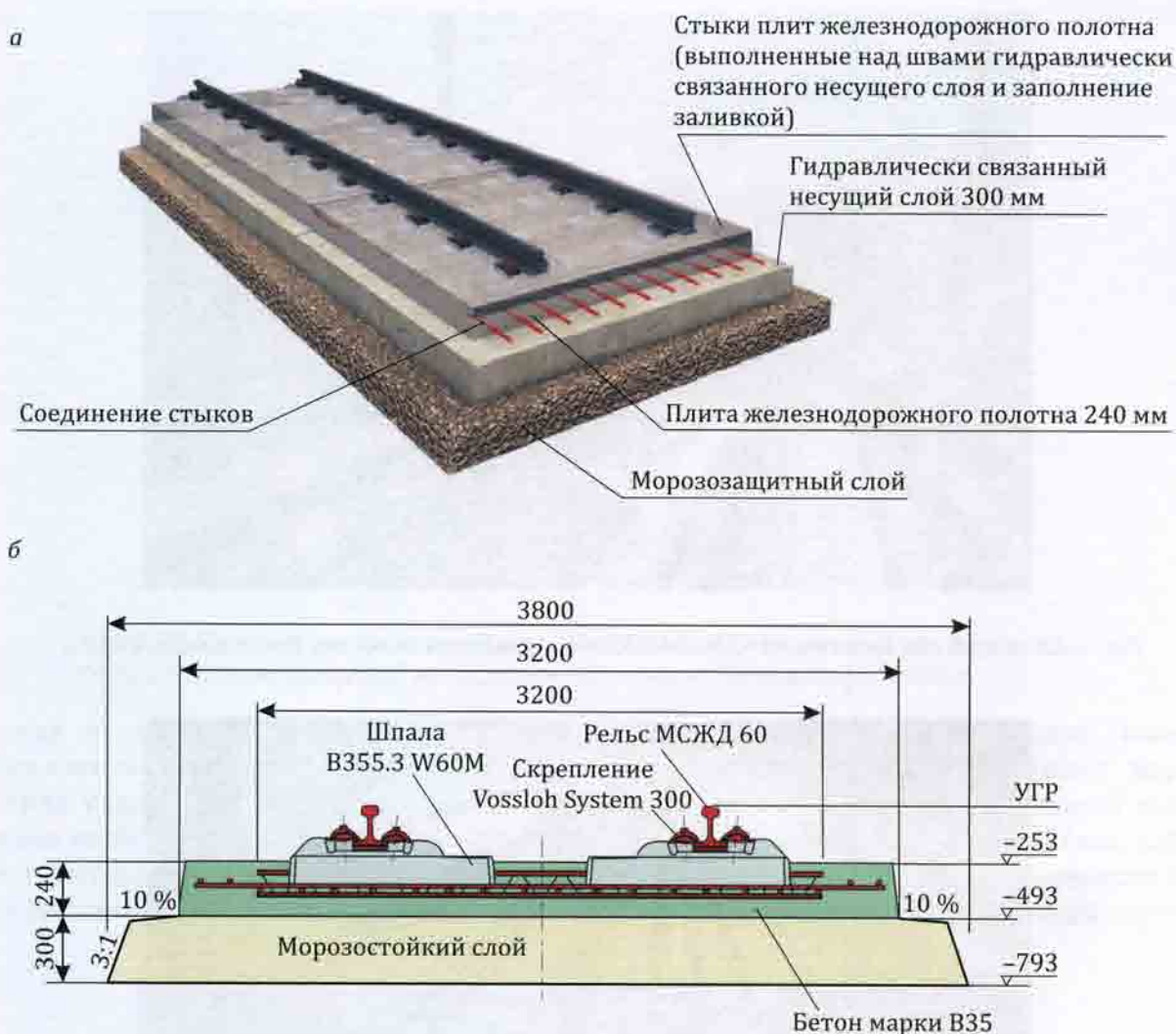


Рис. 6.31. Безбалластный путь типа «RHEDA-2000»: а — общий вид конструкции; б — схематическое изображение поперечного разреза. Германия



Рис. 6.32. Общий вид пути типа «RHEDA-2000» на эстакаде. Германия. 2010 г.



Рис. 6.33. Общий вид пути типа «RHEDA-2000» на земляном полотне. Нидерланды. 2010 г.



Рис. 6.34. Общий вид конструкции пути типа «RHEDA-2000», подготовленной к заливке бетоном. Германия. 2010 г.

возке и строительстве, а после ввода в эксплуатацию придает системе надежность и долговечность.

Бетонный слой является компонентом конструкции, на который приходится самая большая нагрузка. Для очень плотных почв — которые, кстати, являются самыми благоприятными для строительства безбалластного пути, поскольку не приводят

к интенсивным остаточным деформациям — конструкция подложки может состоять из плит размерами $2,8 \times 0,24$ м (рис. 6.34).

Применяется еще одна конструкция безбалластного пути — система «Bögl»¹ (Гер-

¹ Конструкцию предложил в конце 80-х годов прошлого века немецкий инженер Макс Бёгл (Bögl). В настоящее время конструкции этого пути производятся компанией Макс Бёгл (ФРГ).



Рис. 6.35. Высокоскоростной поезд на безбалластном пути типа «Bögl» высокоскоростной железнодорожной магистрали Нюрнберг — Игольштадт. 2009 г.

мания), включает сборные плиты заводского изготовления (рис. 6.35, 6.36, 6.37).

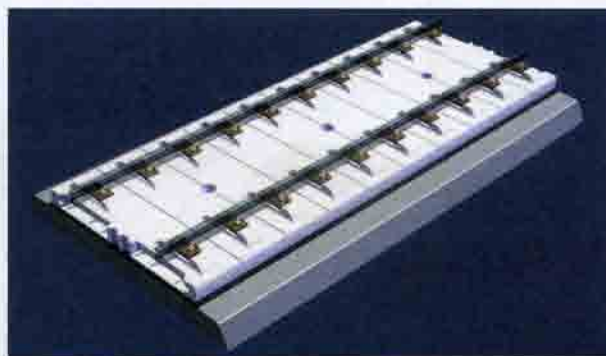
Перед укладкой плит длиной по 6,5 м, каждая из которых состоит из пяти сегментов, грунт в основании пути уплотняют таким образом, чтобы выполнить все требо-

вания к допускам по его осадке. Поверх земляного основания укладывают морозозащитный слой, предохраняющий конструкцию от морозного пучения (рис. 6.37). Плиты помещаются на слой усиленного бетонного основания (2) или на слой грунта,

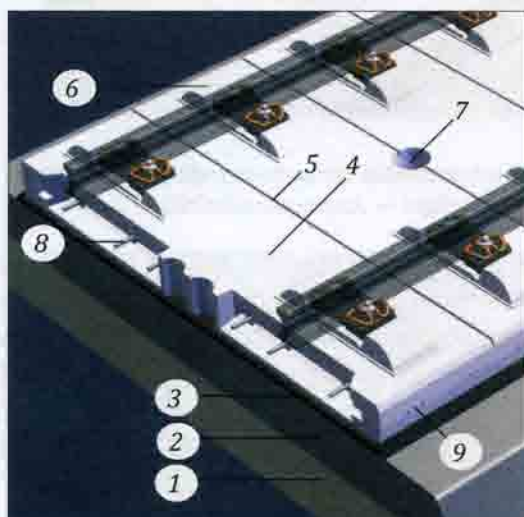


Рис. 6.36. Верхнее строение пути типа «Bögl» с междупутьем, засыпанным балластом, на высокоскоростной железнодорожной магистрали Нюрнберг — Игольштадт. Германия. 2009 г.

а



б



в

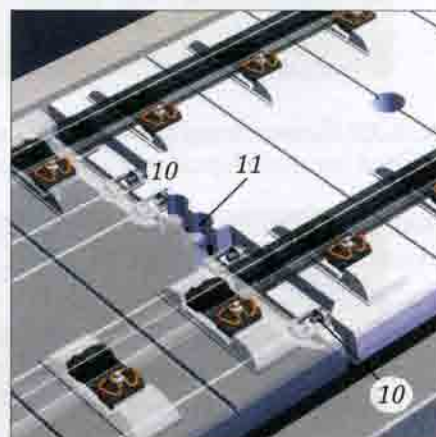


Рис. 6.37. Верхнее строение пути типа «Bögl»: а — плита в сборе; б, в — схематическое изображение конструкции: 1 — морозозащитный слой; 2 — слой бетонного основания из вяжущего вещества, заливаемого в виде водного раствора; 3 — цементный раствор; 4 — сегменты; 5 — проектный шов между сегментами плиты; 6 — точка опоры рельса; 7 — отверстие для заливки цементного раствора; 8 — стержни продольной стальной арматуры; 9 — предварительно напряженная поперечная стальная арматура; 10 — гайки для натяжения стержней продольной арматуры; 11 — соединительные устройства плит

скрепленного вяжущим водным раствором. На пролетные конструкции мостов стандартные плиты укладываются на скользящее усиленное бетонное основание и в определенных местах скрепляют с конструкцией моста анкерными устройствами.

Заранее изготовленные на заводе поточным способом (рис. 6.38, а, б) плиты доставляют к месту монтажа автотранспортом (рис. 6.38, в) и укладывают в путь со стандартным промежутком 5 см. Проектная точность установки обеспечивается специальной монтажной рамой (рис. 6.39). Плиты

скрепляются по длине с натяжением продольных арматурных стержней (рис. 6.40), промежуток между плитой и бетонным основанием заполняется специально разработанным жидким цементным раствором (рис. 6.41). В результате получается непрерывная монолитная железобетонная лента, которая обладает высоким уровнем сопротивления смещению как по длине, так и по ширине. Соединение плит по длине препятствует так называемому эффекту «скручивания», который выражается в искривление концов плит из-за разницы температур.

a



б



Рис. 6.38 (начало). Плиты типа «Вögl»: а, б — поточное производство плит на заводе



Рис. 6.38 (окончание). Плиты типа «Vögl»: в — транспортировка плит к месту монтажа



Рис. 6.39. Установка плит типа «Vögl» на подготовленное основание с помощью монтажной рамы



Рис. 6.40. Соединение плит типа «Bögl» между собой с натяжением продольных стержней арматуры



Рис. 6.41. Заполнение цементным раствором полости между плитой и бетонным основанием

Для водоотведения на поверхности плит предусмотрен легкий уклон в 0,5 ‰. Опорные подрельсовые поверхности могут быть дополнительно обработаны на заводе при помощи шлифовального станка с компьютерным управлением. Это позволяет обеспечить очень высокую точность положения

рельсовых нитей. Изготовление плиты завершается установкой крепежа для рельсов. В зависимости от требований конкретной линии, могут применяться любые конструкции промежуточных креплений. Безбалластный путь системы «Bögl» успешно применяется во многих странах.

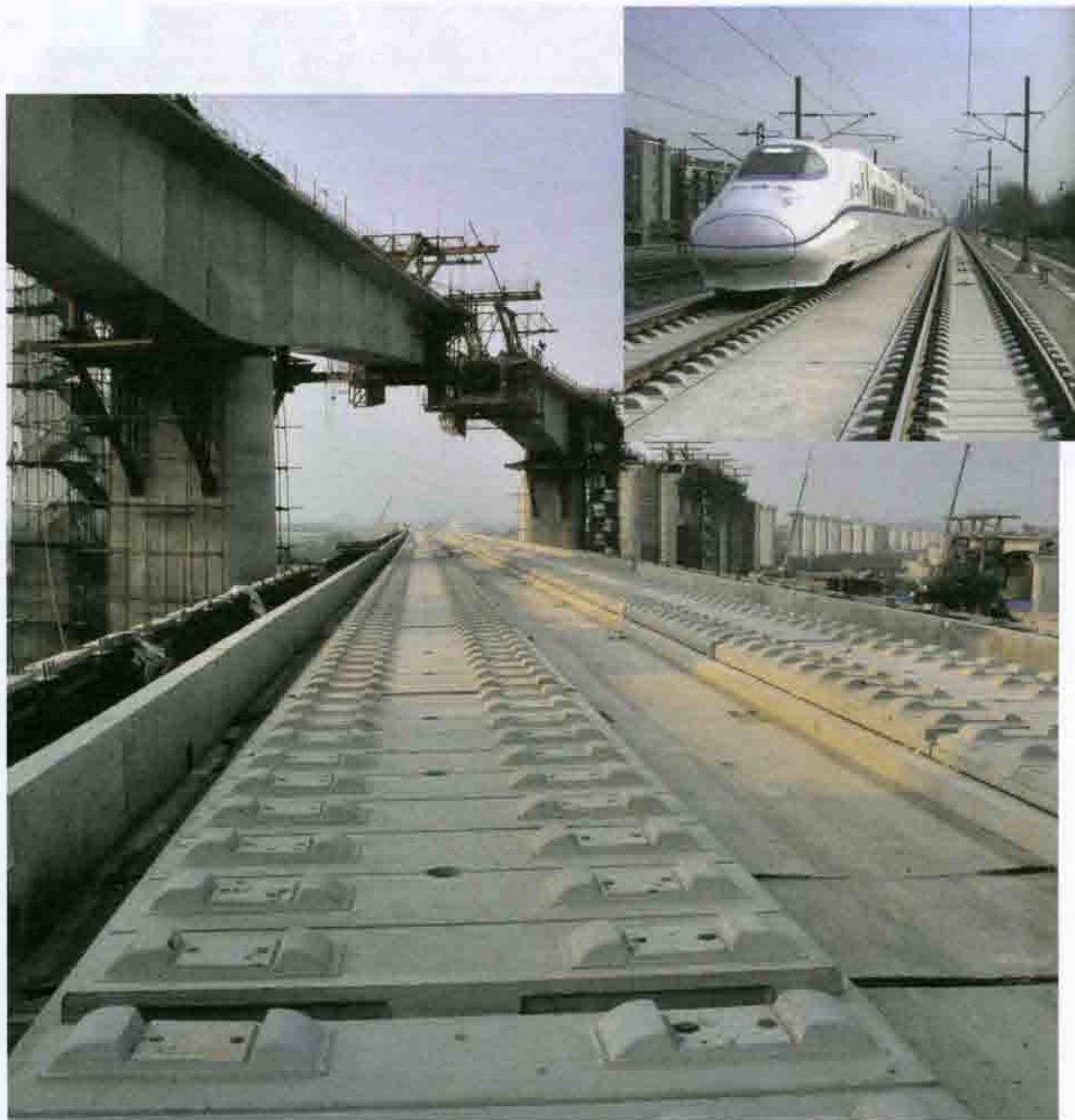


Рис. 6.42. Укладка пути типа «Bögl» на ВСМ. Врезка — движение поезда по магистрали Пекин — Шанхай. 2009 г.

Такой путь уложен на самой протяженной в мире ВСМ длиной 1318 км между столицей КНР Пекином и Шанхаем (рис. 6.42).

В настоящее время при строительстве ВСМ активно внедряется и конструкция пути типа «ÖBB Porr»¹ (Австрия). В конструкции использован слой плит на эластичной подложке (рис. 6.43—6.46). Систе-

¹ Конструкцию разработали совместно Австрийские железные дороги (нем. Österreichischen Bundesbahnen, аббревиатура ÖBB) и австрийская компания Allgemeine Baugesellschaft — A. Porr AG (сокращенно: Porr).

ма на сплошном подрельсовом основании «ÖBB Porr» укладывается на плиты из усиленного бетона заводского изготовления длиной 5,18 м. Конструкция имеет хорошую амортизацию даже при очень больших нагрузках. Небольшая высота делает ее удобной при укладке пути в тоннелях (рис. 6.47) и на мостах.

При движении подвижного состава по пути с безбалластным основанием уровень шума возрастает приблизительно на 4 дБ.

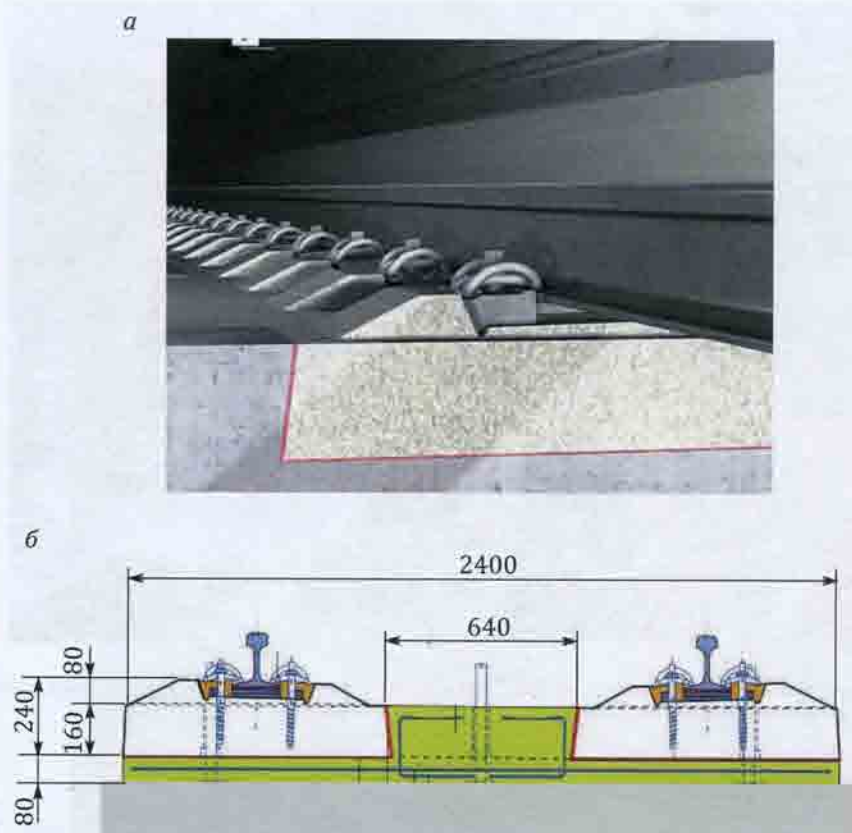


Рис. 6.43. Конструкция пути типа «ÖBB Porr» (а) и схематичный поперечный разрез с размерами (б)

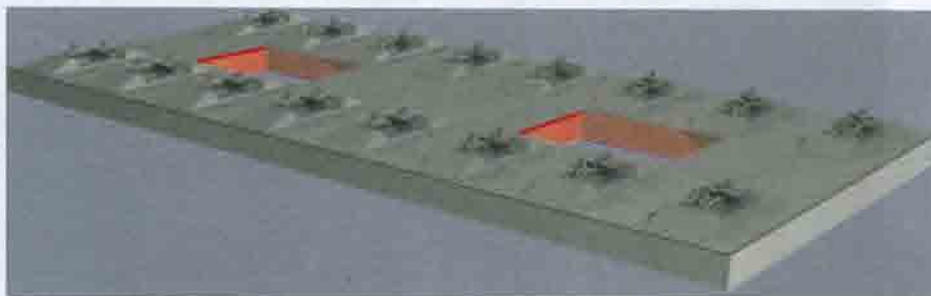


Рис. 6.44. Плита пути системы «ÖBB Porr»

Для устранения этого недостатка под плиты на асфальтоцементный слой укладывают резиновые маты, или принимают другие технические решения. Безбалластный путь, обеспечивающий пониженный уровень вибрации, может быть наглядно представлен швейцарской конструкцией «LVT-System»¹. Конструкция включает (рис. 6.48) упругую подкладку под рельс и резиновые маты под блок. К типу промежуточного

¹ LVT от англ. Low Vibration Track — путь с низкой вибрацией.

скрепления не предъявляется никаких особых требований, используется только упругая подкладка под рельсами. Конструкция монтируется на бетонных моноблоках (рис. 6.49).

В настоящее время в мире разрабатываются и эксплуатируются и другие конструкции безбалластного пути, целесообразность применения которых должна подтвердить практика, а также оценка с точки зрения их воздействия на окружающую среду.



Рис. 6.45. Плиты пути системы «ÖBB Porr» в процессе монтажа, подготовленные к укладке рельсов. 2010 г.



Рис. 6.46. Общий вид безбалластной конструкции пути типа «ÖBB Porr». Австрия. 2010 г.

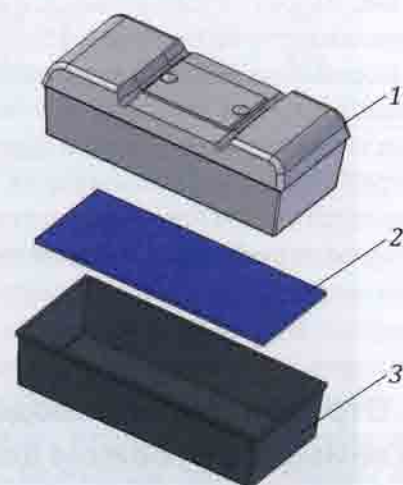


Рис. 6.47. Путь системы «ÖBB Pörr» в тоннеле на подходе к Главному вокзалу Берлина. 2008 г.

а



в



б



Рис. 6.48. Путь типа LVT со креплениями Vossloh (а); основные элементы (б, в): 1 — бетонный блок; 2 — эластичная прокладка и 3 — резиновый чехол, заключенные в монолит бетонной плиты; 4 — бетонные моноблоки



Рис. 6.49. Монтаж конструкций пути типа LVT

Тем не менее, ряд специалистов в последние годы поставили под сомнение безоговорочное признание экологических преимуществ безбалластного пути. Так, исследования, проведенные в Республике Корея (Южная Корея) показали, что в процессе всего жизненного цикла устройств пути на плитном основании, включая промышленный выпуск железобетонных изделий, эксплуатацию и утилизацию после окончания срока службы, в сопоставлении с одинаковым по протяженности путем на балласте и железобетонных шпалах, в атмосферу выбрасывается примерно в 1,5 раза больше CO_2 . Корейские ученые, в частности, считают необходимым поиск новых экологически чистых вяжущих средств и технологий, не требующих использования цемента, производство которого является мощным источником выброса парниковых газов.

6.5. Стрелочные переводы, применяемые за рубежом для скоростного и высокоскоростного движения

Стрелочные переводы являются весьма ответственными элементами железнодорожного пути. При следовании поездов со

скоростью 200 км/ч и более в стрелочных переводах возникают значительные боковые силы. Исходя из этого стрелочные переводы для ВСМ должны изготавливаться из рельсов массой не менее 60 кг/пог. м и укладываться на железобетонные переводные брусья.

Крестовины стрелочных переводов, в целях предотвращения ударов колеса при проходе пересечения одной рельсовой нити другой (для исключения так называемого «мертвого пространства»), должны иметь конструкцию, обеспечивающую непрерывную поверхность катания (рис. 6.50). Чаще всего для этого используются крестовины с подвижным сердечником.

Международным союзом железных дорог разработан типоразмерный ряд стрелочных переводов из рельсов массой 60 кг/пог. м., допускающих движение поездов со скоростями 160, 200 км/ч и более. Их основные параметры приведены в табл. 6.1.

В мире утвердились два подхода к выбору типов стрелочных переводов для высокоскоростных линий. В Японии на ВСМ редко применяют переводы с крестовинами более пологими, чем 1/32. В этой стране считают, что устройство стрелочных переводов с более пологими крестовинами создает излишние технические проблемы. Принятая здесь концепция эксплуатации

а



б



Рис. 6.50. Крестовины стрелочных переводов: а — литая (стрелками показано «мертвое пространство»: здесь колесо, переходя с одной рельсовой нити на другую, на некотором отрезке пути теряет опору); б — крестовина с подвижным сердечником, обеспечивающая непрерывную поверхность катания колеса

Таблица 6.1

Типоразмерный ряд стрелочных переводов для скоростного движения

Тип стрелочного перевода	Марка крестовины	Длина L_n , м	Скорость движения v , км/ч
EW 60-500	1/12	45,361	65
EW 60-700	1/14	54,216	80
EW 60-1200	1/18	66,615	100
EW 60-2500	1/26,5	94,306	130
EW 60-7000	1/42	154,266	200

ВСМ исходит из того, что стрелочные переводы должны обеспечивать движение по прямому направлению с максимальной установленной для магистрали скоростью, например, 270 км/ч. А при движении на боковое ответвление величина допустимой скорости будет не более 70—90 км/ч, поскольку на боковой путь следуют поезда, имеющие остановку на данной станции и поэтому снижающие скорость. При укладке таких переводов на диспетчерских съездах также нет необходимости в движении на боковое ответвление с большой скоро-

стью, поскольку их используют в чрезвычайных ситуациях, когда движение ведется с уменьшенными скоростями, например, при организации движения по неправильному пути. Такие переводы уложены и на ВСМ Тайваня, которая проектировалась и строилась, во многом, под влиянием японских специалистов (рис. 6.51).

Во Франции при создании первой в Европе ВСМ была принята концепция использования стрелочных переводов со сверхпологими крестовинами, вплоть до марки 1/65 (табл. 6.2), обеспечивающих скорость



Рис. 6.51. Стрелочный перевод с крестовиной марки 1/32 на ВСМ. Тайвань

Таблица 6.2

Скорость движения поездов по стрелочным переводам на ВСМ Париж — Лион

Марка крестовины	Радиус переводной кривой, м	Допустимая скорость движения на боковой путь, км/ч	Число уложенных переводов на линии
1/65	4000	220	27
1/46	3000	160	60
1/29,74	3000	160	9
1/26,55	2500	130	9
1/21	1540	100	5

движения поезда на боковое направление 220 км/ч и до 350 км/ч по прямому направлению. В этой стране в 2007 г. был установлен рекорд скорости движения 560 км/ч по стрелочному переводу (изготовлен ком-

панией Vossloh Cogifer) по прямому направлению.

При разработке стрелочного перевода марки 1/65 (рис. 6.52), допускающего скорость 220 км/ч на боковое направление, за пре-

а



б



в

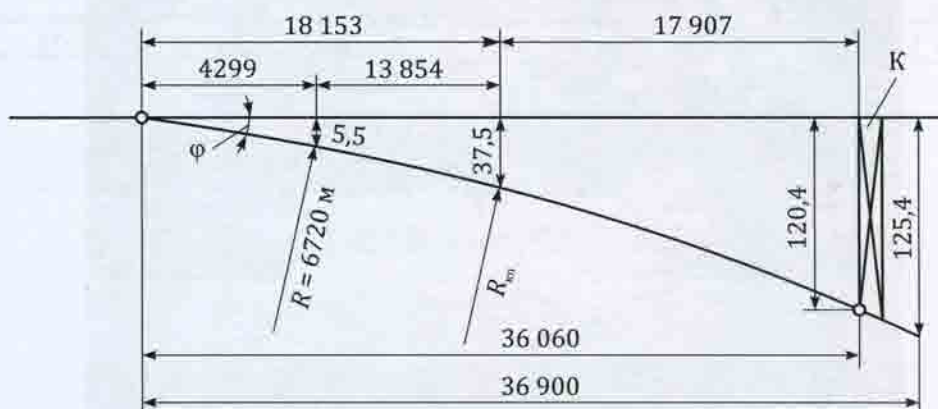


Рис. 6.52. Стрелочные переводы с крестовиной марки 1/65 на сборочном стенде: а — вид со стороны остяков; б — вид со стороны крестовины; в — расположение в плане остяков перевода: ϕ — $0^{\circ}4'23,9''$ — начальный угол остяка; К — корневое крепление; $R_{кр}$ — кубическая парабола. Сборочный полигон предварительного монтажа стрелочных переводов. Испания. 1991 г.

дельную величину недостатка возвышения наружного рельса над внутренним на кривой было принято 85 мм, что обеспечивается при начальном радиусе кривой 6720 м. Исходя из этих условий, остряк (рис. 6.52, в) состоит из трех частей: прямолинейной — с начальным углом $0^{\circ}4'23,9''$ на длине 4,3 м; отрезка 13,85 м постоянного радиуса 6720 м; и отрезка, переходящего в кубическую параболу с радиусом до бесконечности в центре междупутья, равного 4,2 м.

Стрелочные переводы марок 1/65 и 1/46 изготавливаются из рельсов UIC60, имеющих высоту 172 мм и ширину головки 72 мм, и используются для рамных, соединительных и наружных рельсов крестовин. Остряки и подвижные сердечники изготавливают из рельсов специального профиля UIC60A высотой 142 мм с шириной шейки 28 мм. Рамные рельсы укладывают с подуклонкой 1/20. Крестовина состоит из рамы (правого и левого рамных рельсов) и подвижного сердечника, выполняющего роль остря-

ка в зависимости от рабочего положения. Во Франции применяются рамные рельсы специального профиля с подуклонкой 1/20 за счет наклона шейки рельса и остряка. В ряде стран используются специальные остряковые рельсы (рис. 6.53). Основные технические параметры рассматриваемых переводов даны в табл. 6.3.

Перемещение сердечника контролируется устройством, встроенным в стрелочный замок, и двумя дополнительными контрольными устройствами. Для перевода остряков и подвижного сердечника крестовины этого стрелочного перевода используются 11 электроприводов, 8 из которых приводят в движения остряки и 3 — подвижный сердечник крестовины (см. рис. 6.52, а и 6.52, б). На ВСМ Париж — Лион из 136 стрелочных переводов 87 имеют конструкцию с подвижными элементами крестовины марки 1/65 или 1/46.

Концепции применения сверхпологих стрелочных переводов придерживаются при строительстве ВСМ в Испании.

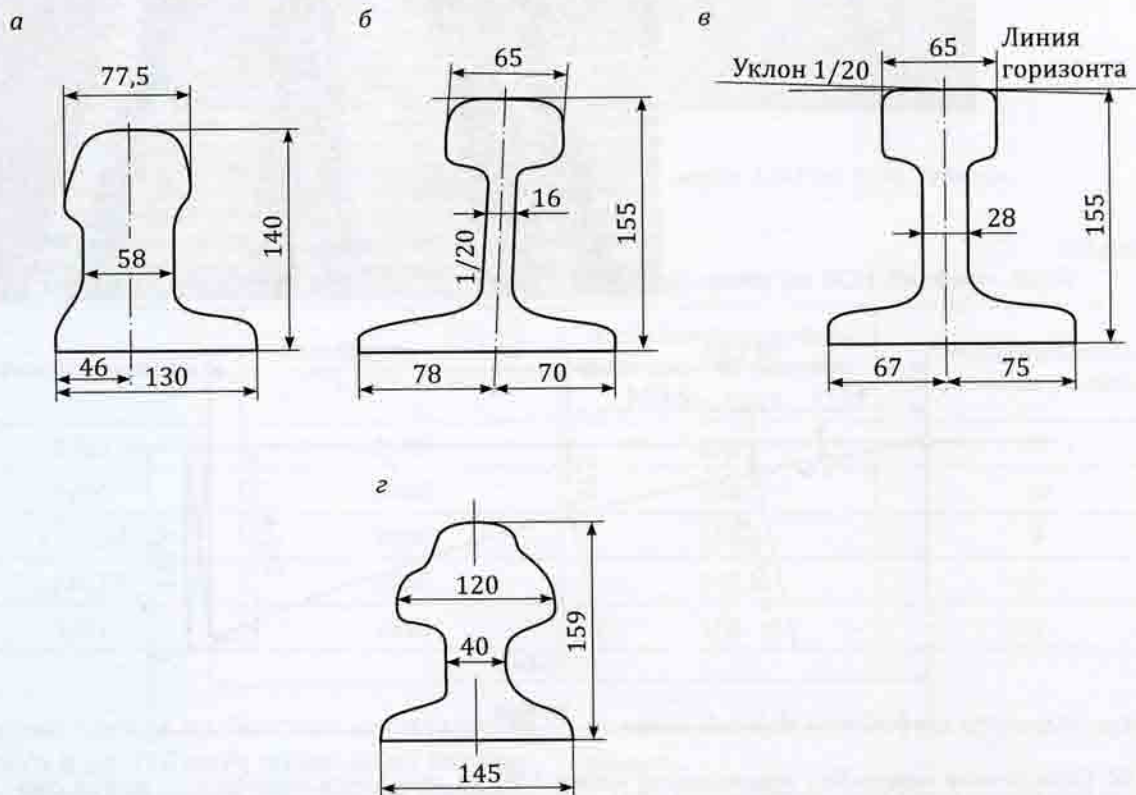


Рис. 6.53. Поперечные профили рельсов и остряков стрелочных переводов: а — профиль Р65 (Россия); б, в — профиль рамного рельса и остряка (Франция); г — профиль остряка (Япония)

Параметры стрелочных переводов с марками крестовин 1/65 и 1/46

Наименование параметров	Марки крестовин	
	1/65	1/46
Полная длина, м	151,78	107,43
Радиус переводной кривой, м	4000	3000
Длина остряка, м	57,65	41,15
Длина рамного рельса, м	59,95	46,54
Длина рамы крестовины, м	21,75	16,8
Сердечник:		
большой рельс, м	28,41	18,41
малый рельс, м	21,82	14,01
Число остряковых тяг	15	11
Число тяг в сердечнике	5	4
Число контрольных устройств:		
остряка	5	5
сердечника	2	2



Рис. 6.54. Стендовая сборка стрелочного перевода. Испания. 2009 г.



Рис. 6.55. Доставка длинномерных элементов стрелочного перевода автотранспортом. Тайвань. 2004 г.

а



б



в



г



Рис. 6.56. Основные этапы укладки стрелочного перевода на ВСМ: а — раскладка переводных брусьев; б — монтаж элементов перевода с помощью крана; в — стрелочный перевод, подготовленный к монтажу переводного механизма и электроприводов; г — устройства электрообогрева стрелки



Рис. 6.57. Готовый к эксплуатации стрелочный перевод на ВСМ. Испания. 2009 г.

Для перевозки переводов к месту установки требуются специальные поезда длиной 260 и 220 м, причем отдельные элементы переводов грузятся на сцепы из трех-четырёх платформ.

В Германии используются несколько типов стрелочных переводов для скоростного и высокоскоростного движения, в том числе — безостряковый с двумя передвижными рельсами, допускающий скорость движения на боковой путь до 350 км/ч.

Как правило, перед укладкой в путь на ВСМ производится контрольная сборка стрелочных переводов на специальных стендах (см. рис. 6.52, 6.54), на которых проверяется соответствие всех элементов проектным параметрам, взаимодействие подвижных элементов. После проверки и отладки работы перевод разбирают и частями доставляют к месту укладки в путь на специальном железнодорожном или автомобильном транспорте (рис. 6.55).

На месте монтажа перевода при прокладке ВСМ на подготовленную балластную призму укладывают переводные брусья,

после чего устанавливают элементы стрелочного перевода, монтируют детали переводного механизма, электрические приводы, устройства электрического обогрева и обдува стрелок, если они необходимы по условиям зимней эксплуатации (рис. 6.56). Собранный перевод вновь тщательно проверяется на соответствие всем проектным параметрам (рис. 6.57).

6.6. Стрелочные переводы, используемые для высокоскоростного железнодорожного движения в России

В настоящее время (2013 г.) в России для укладки на скоростных линиях выпускаются стрелочные переводы и съезды типа Р65 марки 1/11, позволяющие движение по прямому направлению со скоростью 200 км/ч и на боковое — 50 км/ч. Технические требования к стрелочным переводам на ли-

нии Санкт-Петербург — Москва для повышения скорости движения пассажирских поездов до 250 км/ч изложены в стандарте ОАО «РЖД» «Инфраструктура линии Санкт-Петербург — Москва для высокоскоростного движения поездов». Отечественной промышленностью были созданы высокоскоростные переводы проекта 2956 и 2968. (рис. 6.58). Важное место при разработке стрелочных переводов было уделено системам безопасности. В конструкции стрелки использованы два внешних замыкателя, один из которых располагается в острие остряка, а другой — в конце остроганной части. Система обеспечивает надежную фиксацию пары остряк-рамный рельс в рабочем положении даже в случае обрыва тяг. Кроме того, при попадании между остряком и рамным рельсом постороннего предмета замыкание стрелки невозможно.

На стрелке и крестовине в каждом месте приложения переводного усилия расположен свой электропривод:

— два электропривода и два внешних замыкателя на стрелке, которые размещаются в двух металлических корытообразных брусках;

— два электропривода на крестовине и три точки прижимания сердечника к усовику и упорам.

Всего на стрелочном переводе четыре электропривода ВСП винтового типа по два на стрелке и крестовине. Это дало возможность отказаться от продольных тяг и существенно упростило переводные механизмы. Стали проще их регулировка и обслуживание при эксплуатации. Были разработаны и опробованы две схемы включения устройств перевода и контроля положения элементов стрелочного перевода в систему СЦБ станций (с магистральным и центральным питанием).

Новые стрелочные переводы прошли проверку и работают на линии Санкт-Петербург — Москва на участке, где реализуется скорость движения поездов до 250 км/ч. Во время динамико-прочностных испытаний в 2009 г. переводы этой конструкции обеспечили скорость движения поезда «Сапсан» до 290 км/ч.

Взаимозаменяемость переводов с эксплуатируемыми сохранена путем неизменности теоретической длины и разбивочных размеров. В табл. 6.4 даны технические характеристики стрелочных переводов типа



Рис. 6.58. Общий вид стрелочного перевода проекта 2968 (Россия)

Технические характеристики стрелочного перевода

Параметры	Проект 2726	Проект 2956
Вид	одиначный обыкновенный	одиначный обыкновенный
Ширина колеи, мм	1520	1520
Полная длина, мм	39 063	40 543
Радиус бокового пути, мм	300 000	300 000
Максимальная статическая нагрузка на рельс, кН	245	250
Максимальная скорость движения, км/ч:	—	—
по прямому пути	250	250
по боковому пути	50	50
Нормативный ресурс до снятия, млн т брутто:	—	—
стрелки	320	не менее 320
крестовины	320	не менее 320

Р65 марки 1/11 проектов 2726 и 2956. В то же время подуклонка рельсовых нитей такая же, как и на примыкающих путях.

В новых переводах применено шурупно-дюбельное прикрепление подкладок к брускам (рис. 6.59). Шуруп воспринимает горизонтальные силы, что существенно увеличивает стабильность колеи.

Рельсовые элементы прикрепляются к подкладкам упругими клеммами ОП-105, возможна также постановка клемм фирмы

«Фоссло», хорошо показавших себя в испытаниях. С учетом условий эксплуатации и динамических воздействий ОАО «Искож» (г. Киров) разработало напальные комбинированные прокладки-амортизаторы из материалов с различными физико-механическими свойствами. Для снижения жесткости, шума и вибраций, улучшения упругих свойств подрельсовая зона с рифлениями изготовлена из эластичной резиновой смеси РПИ-8. Чтобы стабилизировать ши-

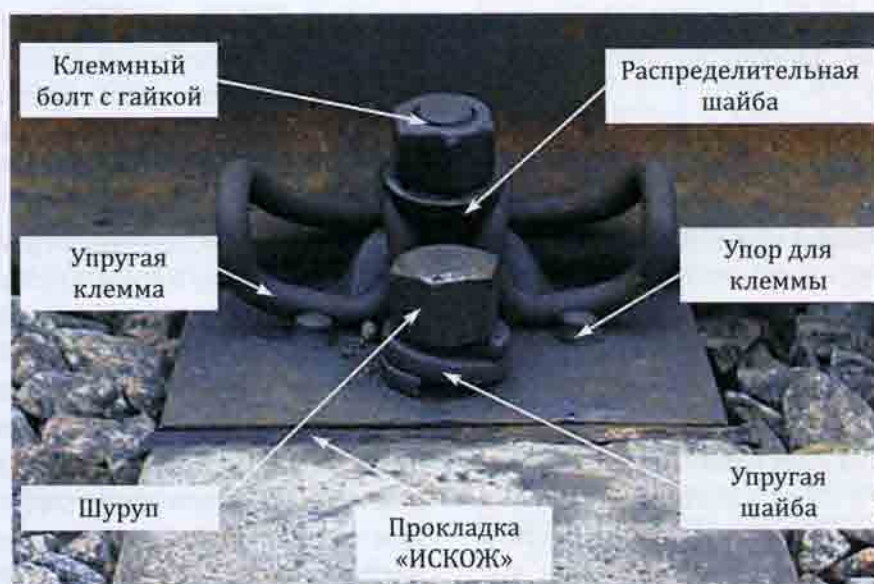


Рис. 6.59. Шурупно-дюбельное прикрепление подкладок к брускам на стрелочном переводе



Рис. 6.60. Полые металлические брусья переводов, оборудованные крышками для защиты от грязи

рину колеи и предотвратить срезание при действии боковых нагрузок, зона упорных буртиков до крайних монтажных отверстий изготовлена из резиновой смеси ЭИ 5077 повышенной твердости.

В настоящее время прокладки ОАО «Искож» из резиновой смеси РПИ-8 для крепления КБ-65 сертифицированы в РС ФЖТ как прокладки повышенной долговечности с ресурсом не менее 1 млрд т груза брутто, сохраняющие работоспособность в течение 30 лет.

Освоение российскими стрелочными заводами сварочных технологий позволяет конструировать переводы как составляющую бесстыкового пути. В частности, на приварных рельсовых окончаниях, остряках и сердечнике крестовины стрелочных переводов проекта 2956.00.000 могут быть сварены все стыки, за исключением изолирующих и поворотного стыка короткой ветви сердечника крестовины.

При укладке и эксплуатации переводов возникают трудности с выправкой пути в зоне стрелки, в местах расположения тяг переводных устройств. Подбивка машинами в этих местах невозможна, а с помощью

электроинструмента не дает хорошего результата (мешают элементы переводных механизмов). Выход из положения — размещение тяг и замыкателей в специальных полых металлических брусках. Такие конструкции разработаны и опробованы в новых стрелочных переводах (рис. 6.60). Полые брусья оборудованы крышками, предотвращающими попадание в них загрязнителей. Для обеспечения работы переводных механизмов зимой в них располагаются элементы электрообогрева.

В настоящее время в России ведется разработка стрелочных переводов для скорости движения до 400 км/ч. В частности, разработана геометрия стрелочных переводов и съездов марки 1/46, обеспечивающая возможность движения на боковое отвлечение со скоростями 170—180 км/ч. По опыту европейских высокоскоростных магистралей съезды с такими переводами для обеспечения безопасности движения и условий исполнения графика движения при производстве путевых работ должны располагаться через 40—50 км перегонных путей.

Глава 7

Проблемы совместимости эксплуатации ВСМ с различной шириной колеи

7.1. Краткий исторический очерк происхождения разных стандартов ширины колеи железных дорог и влияние ширины колеи на скорость движения

Железнодорожная сеть России — одна из самых больших национальных систем железных дорог мира, построена с применением ширины колеи, отличной от большинства европейских стран и КНР, с которыми имеет устойчивые транспортные связи. Развитие скоростных, а в перспективе и высокоскоростных сообщений между Россией, странами Востока и Запада, безусловно, делает в ближайшие годы проблему совместимости железнодорожных сетей разных стран более актуальной. Исходя из этого, полезно знать опыт стран, которые уже приступили к решению этой проблемы в контексте скоростного и высокоскоростного железнодорожного движения.

На начальном этапе развития железнодорожного транспорта отдельные железные дороги рассматривались как изолированные транспортные системы, ширину колеи которых строители в разных странах выбирали произвольно, исходя из различных технико-экономических соображений. К середине XIX в. в Великобритании были построены железные дороги, имевшие бо-

лее 33 стандарта колеи¹. Вопрос о возможном объединении железных дорог в единую сеть страны, сначала очень неуверенно, возник в Великобритании в конце 30-х годов XIX в., в других странах — позже, а на межгосударственном уровне континентальной Европы только во второй половине XIX в.

В первые десятилетия существования железных дорог многие инженеры связывали повышение скорости движения поездов с необходимостью применения более широкой колеи, которая, как они считали, обеспечивала бы большую устойчивость подвижного состава, позволяла бы увеличивать габаритные размеры паровозов для повышения их мощности. Между тем, строительство инженером Джорджем Стефенсоном в 1830 г. в Англии первой железной дороги с паровой тягой Манчестер — Ливерпуль с колеей $4' 8\frac{1}{2}"$ (4 фута, восемь и одна вторая дюйма = 1435 мм) имело очень большое значение не только с точки зрения начала все большего распространения паровозов, но и с позиций становления указанной колеи, часто именуемой «стефенсовской», как нормальной, сначала для Анг-

¹ От 1 фута и $\frac{1}{4}$ дюйма (311 мм) до 7 футов и $\frac{1}{4}$ дюйма (2140 мм). Общая протяженность дорог с колеей $4' 8\frac{1}{2}"$ (1435 мм) составляла 3228 км; $5' 3"$ (1600 мм) — 55 км; $5' 6"$ (1676 мм) — 55 км; $6' 2"$ (1880 мм) — 43 км; $7' 1\frac{1}{4}"$ (2140 мм) — 469 км. Имелось множество промышленных и шахтных железных дорог с колеей менее $4' 8\frac{1}{2}"$.

лии, а затем и для многих других стран. Распространению этого стандарта способствовало то, что Дж. Стефенсон и его сын Роберт начали на своем заводе в Ньюкасле (Newcastle upon Tyne) — одном из первых паровозостроительных заводов в мире — выпуск локомотивов и вагонов именно для этой колеи.

Однако этот стандарт железнодорожной колеи подвергался критике многими инженерами в Великобритании и других странах. Были сторонники и более узкой колеи, чем 1435 мм. Они исходили из экономической целесообразности узкоколейных железных дорог. Другие считали необходимым принятие более широкой колеи, прежде всего, в целях безопасного повышения скорости движения.

Одним из последовательных сторонников широкой колеи был британский инженер И. Брюнель. Что важно в нашем рассмотрении, основополагающим фактором принятия им более широкой колеи, чем использовал Дж. Стефенсон, было именно стремление создать самую скоростную железную дорогу. Строительство в Великобритании Большой Западной железной дороги шириной колеи 7 футов и $\frac{1}{4}$ дюйма (2140 мм) — самой широкой из когда-либо применявшихся на магистральных железных дорогах¹, началось в 1833 г. Действительно, первоначально на этой дороге, длина которой к 1841 г. составляла 275 км, были установлены несколько рекордов скорости. Однако вскоре скоростные показатели железных дорог, построенных Дж. Стефенсоном с колеей 1435 мм, сравнялись, а затем и превзошли те, что были достигнуты на Большой Западной железной дороге. Между тем, капитальные вложения при строительстве и эксплуатационные расходы на ней оказались выше, чем на стефенсоновских.

«Битва на колеех» — так именуют в исторической литературе драматический период выбора стандартной колеи на Британ-

ских островах, за которым стояли экономические и даже политические интересы отдельных групп промышленников и банкиров, закончилась в 1846 г., когда Парламент Великобритании принял «Закон о колее» (Gauge Act), утвердив как стандартную для страны ширину колеи $4' 8\frac{1}{2}"$ (1435 мм)².

В исторической литературе представлены разные версии, почему для России была принята колея шириной 1524 мм, т.е. 5 футов. Исследования крупного отечественного историка железных дорог профессора Д.И. Каргина показывают, что принятие этой колеи в качестве стандартной для нашей страны было основано на тщательном сравнении экспертами Ведомства путей сообщения опыта разных стран. Было признано, что в США к тому времени была создана наиболее подходящая к условиям России железнодорожная техника для колеи 5 футов, что и было высочайше утверждено 14 февраля 1843 г. Позже ширина колеи 1524 мм стала стандартной и для железных дорог Финляндии, входившей в состав Российской Империи, сохранившаяся до наших дней колея позволяет подвижному составу обеих стран передвигаться по железным дорогам и России и Финляндии.

В конце 60-х годов XX в. на железных дорогах СССР была проведена грандиозная работа по сужению колеи на 4 мм до 1520 мм, что по мысли авторов предложения — ученых ВНИИЖТ, должно было обеспечить большую стабильность подвижного состава при движении с высокой скоростью. Колея шириной 1520 мм была узаконена на

² Колея стала самой распространенной в мире, кроме названий «стандартная», «нормальная» получила еще и наименование «стефенсоновская». В мировой железнодорожной литературе колею 1435 мм принято называть «стандартной» или «нормальной», более широкую — «широкой», более узкие — «узкой». В России «стандартной» называли колею 1524, теперь 1520 мм, а «стефенсоновскую» — именуют «узкой». Более широкую колею, чем в России имеют несколько стран: Ирландия — 1600 мм, Испания — ныне — 1668 мм (до недавнего времени — 1676 мм), Португалия — 1676 мм (Иберийская колея), Финляндия — 1524 мм. Распространены в мире и более узкие колеи: 1067 мм — Япония, многие страны Африки. Австралия имеет три стандарта: 1067, 1435 и 1600 мм. В мире широко используется также колея шириной 1000 мм.

¹ Самая широкая колея — 2440 мм, использовавшаяся когда-либо на промышленных железных дорогах, была устроена на лесовозной дороге в Орегоне, США, 80-е годы XIX столетия.



Рис. 7.1. Самые распространенные в настоящее время стандарты ширины колеи

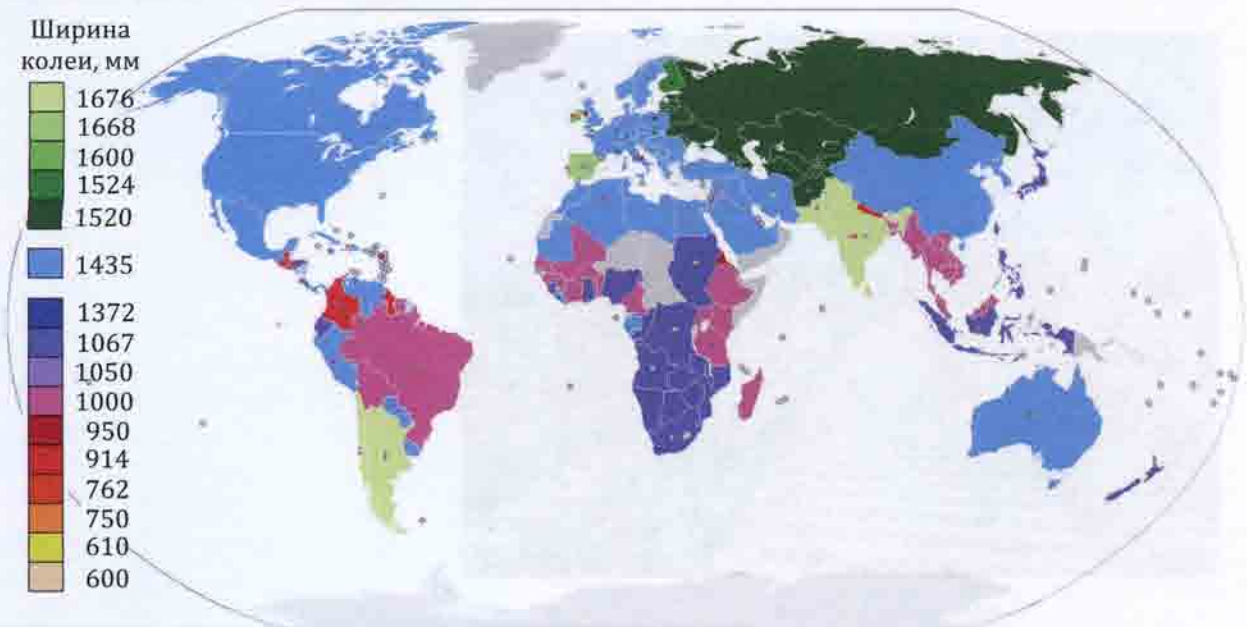


Рис. 7.2. Регионы преимущественного распространения колеи различной ширины на магистральных железных дорогах мира

железных дорог Союза СССР Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) в 1970 г. и сохранилась в настоящее время для железных дорог Российской Федерации. Эффект стабилизации движения подвижного состава (уменьшение виляния за счет меньших углов оси набегания колес) после сужения колеи действительно подтвердился. Но ряд ученых и практиков считают, что сужение колеи стало причиной более интен-

сивного «подреза» гребней колес — повышенного износа колесных пар.

В настоящее время наибольшее распространение в мире получили железные дороги со следующей шириной колеи: нормальная (стефенсоновская) 1435 мм, которую имеют железные дороги Северной Америки, Китая и Европы (за исключением стран СНГ, Прибалтики, Финляндии, Ирландии, Испании и Португалии); россий-

ская — 1520 мм; иберийская — 1668 мм; метровая — 1000 мм; узкая шириной 750 мм (см. рис. 7.1, 7.2). На магистральных железных дорогах мира насчитывается до 16 размеров ширины колеи от 1676 до 600 мм.

7.2. Выбор ширины колеи для ВСМ и совместная эксплуатация магистралей с различной шириной колеи

При создании высокоскоростного железнодорожного транспорта в XX в. несколько стран столкнулись с проблемой выбора для своих ВСМ ширины колеи. В Японии на-

циональная сеть железных дорог имеет колею 1067 мм, в Испании большинство железных дорог построена с колеей 1668 мм. В России и странах бывшего СССР ширина колеи магистральных железных равна 1520 мм, в Финляндии — 1524 мм. В двух странах — в Японии и Испании было принято решение о сооружении ВСМ нормальной колеи (1435 мм), в результате чего возникла проблема обеспечения совместимости сети существующих железных дорог с новыми ВСМ.

В Японии для того, чтобы сделать высокоскоростное движение более доступным для населения, были устроены примыкания к сети линий с нормальной колею «Синкансэн» в виде так называемых линий «Мини Синкансэн». Они сделаны

а



б



Рис. 7.3. Совмещенный участок ВСМ с нормальной колеей 1435 мм и линии с иберийской колеей (1668 мм): а — путь на перегоне; б — стрелочный перевод. Испания

на базе существующих магистральных железных дорог узкой колеи. На этих линиях усилены мосты, спрямлены некоторые участки с кривыми малого радиуса, произведено комплексное оздоровление земляного полотна, после чего уложен новый путь на усиленных железобетонных шпалах с тремя ходовыми рельсами, образующими две колеи: 1435 и 1067 мм. На некоторых линиях «Мини Синкансэн» отказались от движения поездов узкой колеи и оставили только путь колеи 1435 мм. Линии «Мини Синкансэн» имеют меньший габарит приближения строений (такой же как на всех железных дорогах узкой колеи). По этим линиям обращается как подвижной состав колеи 1067 мм, так и специальные поезда серии 400, ЕЗ, которые имеют меньший габарит подвижного состава.

Еще до появления ВСМ в Испании в ряде приграничных районов с Францией были устроены участки, на которых совмещались пути железных дорог колеи 1435 и 1668 мм. Такие совмещенные участки построены в последние годы и на примыканиях к ВСМ (рис. 7.3).

Однако прокладка на одних шпалах пути ВСМ (колея 1435 мм) и обычного для этой страны пути (широкой или узкой колеи), не решает проблему совмещения движения поездов по ВСМ и обычным железным дорогам. В связи с этим в ряде стран создан подвижной состав, имеющий устройство колесных пар, позволяющее ему переходить с одной колеи на другую.

Глава 8

Искусственные сооружения на высокоскоростных железнодорожных магистралях

8.1. Особенности устройства искусственных сооружений на высокоскоростных железнодорожных магистралях

Характерной особенностью высокоскоростных железных дорог является большое число искусственных сооружений (*рис. 8.1, 8.2*). Это объясняется несколькими обстоятельствами. Как было показано ранее, на трассе ВСМ необходимо устройство кривых большого радиуса в плане, что зачастую усложняет трассирование линии и как следствие — суммарное увеличение мостов, путепроводов, а в горной местности (а также вблизи крупных населенных пунктов), и тоннелей.

Помимо необходимости преодоления по трассе ВСМ естественных водных преград, участков с перепадами высот, препятствий в виде больших холмов, горных массивов, для чего необходимо сооружение мостов, эстакад, тоннелей, со второй половины XX столетия строительство искусственных сооружений при прокладке железных дорог увеличилось с целью сохранения экологии, уникальных природных комплексов или ценных сельскохозяйственных угодий. Линии ВСМ часто прокладывают на эстакадах и в тоннелях в условиях равнинной местности. Такие технические решения были приняты, например, при сооружении ВСМ в Англии и Нидерландах. Во многом под

воздействием экологов, проектировщики и строители ВСМ, принимая те или иные технические решения, все больше исходят из концепции создания ВСМ, получившей в ряде зарубежных стран образное название «дружная с окружающей средой» (англ. — *environment friendly*). Так, например, при проходе трассы по ценным природным территориям строят не просто путепроводы, а специальные переходы для людей и проходы диких животных, так называемые «микротоннели», позволяющие при завершении рекультивационных работ после окончания строительства максимально приблизиться к первозданному природному ландшафту (*рис. 8.3*).

В целях безопасности, для исключения пересечений в одном уровне высокоскоростной железной дороги с другими путями сообщения, на ВСМ необходимо строительство путепроводных развязок в разных уровнях железных, автомобильных дорог и пешеходных переходов (*рис. 8.4, 8.5*). Особенно велика необходимость в искусственных сооружениях при строительстве ВСМ в условиях горной и сильно пересеченной местности, поскольку в связи с техническими требованиями выдерживать радиусы кривых не менее 4000 м при трассировании, как правило, исключается возможность использовать долинные ходы. Так, на ВСМ Токио — Осака в Японии, на которой был принят минимальный радиус кривой в плане 2000 м (сегодня это уже



Рис. 8.1. Мостовой переход через
р. Арно на ВСМ Рим — Флоренция.
Италия. 2010 г.



Рис. 8.2. Виадук Арройо де лас Педрас
(d'Arroyo de las Piedras) на ВСМ
Кордова — Малага. Испания 2010 г.



Рис. 8.3. Высокоскоростная железнодорожная магистраль пересекает эстакадой особо охраняемую территорию. КНР. 2010 г.



Рис. 8.4. Типовой автомобильный путепровод на ВСМ Мадрид — Севилья. Испания. 1990 г.



Рис. 8.5. Путепровод на пересечение ВСМ «Юг» со скоростным автомобильным шоссе. Нидерланды. 2006 г.

небольшая величина для подобных магистралей), из 515,4 км трассы около 234 км (45,4 % от общей протяженности) составляет путь на искусственных сооружениях, из них 170 км — на мостах, виадуках и путепроводах. Рельсовый путь японской ВСМ «Тохоку» (496 км) между городами Токио и Мориока практически полностью уложен на искусственных сооружениях, суммарная длина которых составляет почти 94 % от общей протяженности магистрали.

Относительно большое число искусственных сооружений на японских ВСМ объясняется, помимо перечисленных факторов, недостатком свободной территории и неизбежностью строительства новых транспортных линий в зонах со значительным числом населения. Как отмечалось выше, идеология организации высокоскоростных железнодорожных сообщений исходит из необходимости ввода ВСМ в центры крупных населенных пунктов. Только таким образом может быть обеспечена конкурентоспособность высокоскоростных железнодорожных магистралей в сравнении с

авиацией. Однако такие проектные решения создают существенные трудности при строительстве ВСМ (рис. 8.6).

В большинстве европейских стран, имеющих ВСМ, местные условия более благоприятны для их сооружения, чем в Японии. Тем не менее, в этих странах искусственных сооружений на высокоскоростных линиях относительно больше, чем на обычных железных дорогах. В Германии на высокоскоростной магистрали Мангейм — Штутгарт путь на мостах, виадуках, путепроводах и в тоннелях составляет около 35 % от общей длины линии 99 км. На итальянской ВСМ Рим — Флоренция (длина 236 км) путь на искусственных сооружениях составляет около 41 % от общей протяженности.

На будущей ВСМ Москва — Санкт-Петербург, как это следует из материалов изысканий, осуществленных ОАО «Ленгипротранс», предстоит построить около 200 мостов, в том числе через судоходные реки Волхов, Мсту, Волгу, канал Москва — Волга, несколько десятков эстакад, железнодорожных и автодорожных путепроводов, более



Рис. 8.6. Трехъярусная эстакада ВСМ в черте городской застройки. Токио. Япония. 1990 г.



Рис. 8.7. Виадук и тоннель на Восточной ВСМ. Франция. 2010 г.

тысячи водопропускных труб. Общая длина железнодорожных мостов, эстакад и путепроводов на высокоскоростной магистрали составит примерно 5—6 % ее трассы, равнинный характер местности исключает необходимость сооружения тоннелей. Впрочем, по мнению некоторых специалистов в процессе разработки проекта возможно принятие решения о сооружении тоннелей на участках в городской черте Москвы и Санкт-Петербурга.

Наряду с мостами, тоннели являются сложными и дорогостоящими искусственными сооружениями. Стоимость постройки одного погонного метра транспортного тоннеля, как правило, выше стоимости строительства погонного метра моста. Однако существует закономерность: с увеличением общей длины сооружения стоимость одного погонного метра тоннеля уменьшается, а моста — возрастает. Кроме того, как показывает практика, прокладка тоннелей на скоростных и высокоскоростных железных дорогах часто оказывается более приемлемой в связи с высокой ценой земли и требованиями к охране окружающей среды. Устройство тоннелей нередко предпочтительнее сооружения эстакад при проходе через историческую городскую застройку. Сочетание тоннелей, мостов, эстакад позволяет осуществлять трассирование ВСМ по кратчайшим направлениям при пересечении больших водных преград и горных массивов (рис. 8.7).

8.2. Основные требования к проектированию мостов на высокоскоростных магистралях

Проектирование и строительства искусственных сооружений на ВСМ имеет свои особенности. Для обеспечения плавности движения высокоскоростного поезда и комфорта пассажирам величина упругого прогиба (Δ) пролетных строений от статической временной нагрузки не должна превы-

шать $1/2200$ длины пролета (L) (рис. 8.8). На обычных железных дорогах величина упругого прогиба от нормативной нагрузки может достигать $1/800$ от длины пролета. При нормировании жесткости пролетных строений в горизонтальной плоскости на высокоскоростных магистралях в большинстве зарубежных стран придерживаются рекомендаций МСЖД, предусматривающих ограничение рассматриваемых упругих деформаций величиной $1/4000$ длины пролета, при этом максимальное кручение пролетного строения не должно превышать 1 мм на 1 м его длины.

Весьма ответственным параметром искусственных сооружений ВСМ является их грузоподъемность. Реализация концепции регулярного движения по ВСМ только относительно легких пассажирских поездов не должна исключать возможности пропуска по магистрали в период ее строительства и эксплуатации грузовых поездов специального назначения: например, составов из четырехосных хоппер-дозаторов с погонной нагрузкой на путь 7,6 тс/м и с локомотивами с удельной нагрузкой от колесной пары до 23 тс при погонном давлении на путь 8,13 тс/м; подъемных кранов для монтажа и ремонта мостов; специальных строительных и эксплуатационных машин (путееукладчиков, щебнеочистительных и выправочных машин), а также других типов подвижного состава. По величине воздей-

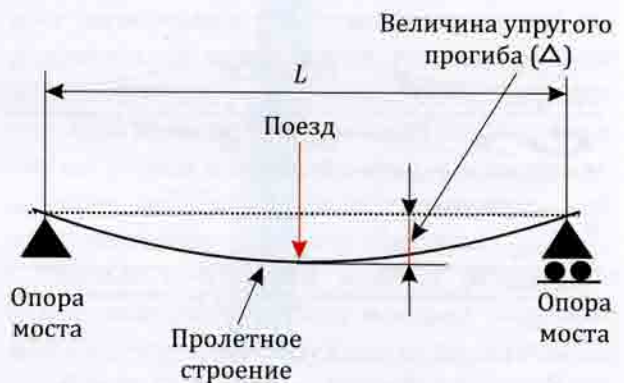


Рис. 8.8. Схематическое изображение прогиба пролетного строения моста под действием нагрузки (поезда), которая условно показана сосредоточенной в одном месте

ствия на мостовые конструкции указанный подвижной состав не превышает нагрузку класса С10,5 (СНиП 2.05.03-84*).

Следует отметить, что применение нагрузки класса С10,5 в качестве нормативной при проектировании мостов на ВСМ в России не приведет к существенному увеличению материалоемкости пролетных строений. Это объясняется высокими требованиями, предъявляемыми к жесткости пролетных строений ВСМ для уменьшения их упругих деформаций от воздействия высокоскоростных поездов и тем самым обеспечения комфорта проезда пассажирам. С учетом этих требований материалоемкость конструкций будет рассчитываться в основном не по первой группе предельных состояний — прочности, устойчивости, а по второй — жесткости, деформируемости. Допустимые по условиям комфортабельности движения высокоскоростных пассажирских поездов геометрические характеристики поперечных сечений основных элементов пролетных строений мостов и эстакад весьма велики и определяют их повышенную несущую способность. Вследствие этого переход от сравнительно небольшой нагрузки специальных высокоскоростных поездов к нагрузке класса С10,5 не связан со значительным увеличением материалоемкости и стоимости конструкций.

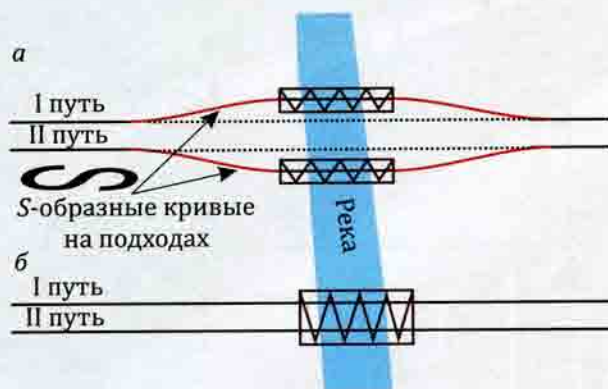


Рис. 8.9. Схематическое изображение подходов к мостовым переходам: а — с однопутными пролетными строениями (S-образные сопрягающие кривые) — линии красного цвета; б — с двухпутным пролетным строением

Установленная на ВСМ ширина междупутья должна сохраняться на всех искусственных сооружениях, включая мосты с пролетными строениями большой длины, в том числе с ездой понизу. В силу этого, для устранения необходимости устройства сложных переходных кривых большого радиуса в плане на подходах к искусственным сооружениям (в зоне сопряжения земляного полотна с мостами и эстакадами)¹, мосты, эстакады и путепроводы на ВСМ целесообразно проектировать только с двухпутными пролетными строениями (рис. 8.9). Это предъявляет высокие требования к их горизонтальной и крутильной жесткости.

8.3. Конструкции мостов на высокоскоростных магистралях

Пролетные строения мостов и виадуков высокоскоростных магистралей Японии, Европы сооружаются в основном из железобетона (рис. 8.10). При этом для перекрытия пролетов длиной более 40 м применяют двухпутные балочные пролетные строения коробчатого сечения с ездой поверху из монолитного предварительно напряженного железобетона. Как правило, на больших мостах и виадуках ВСМ используют многопролетные балочные системы.

При сравнительно высоких опорах или неблагоприятных условиях опирания на слабые грунты для уменьшения дополнительных напряжений в рельсах бесстыкового пути используют неразрезные многопролетные балочные системы. Неподвижные опорные части устанавливают на одном из устоев, а в зоне другого устоя предусматривают установку уравнительного рельсового прибора. При большой длине мостов неподвижные опорные части устанавливают на одной или нескольких промежуточных опорах, способных восприни-

¹ Так называемых «S-образных» кривых, напоминающих в плане повернутую латинскую букву S.



Рис. 8.10. Сооружение моста с железобетонными пролетными строениями на ВСМ Лондон — Тоннель под Ла-Маншем. Англия

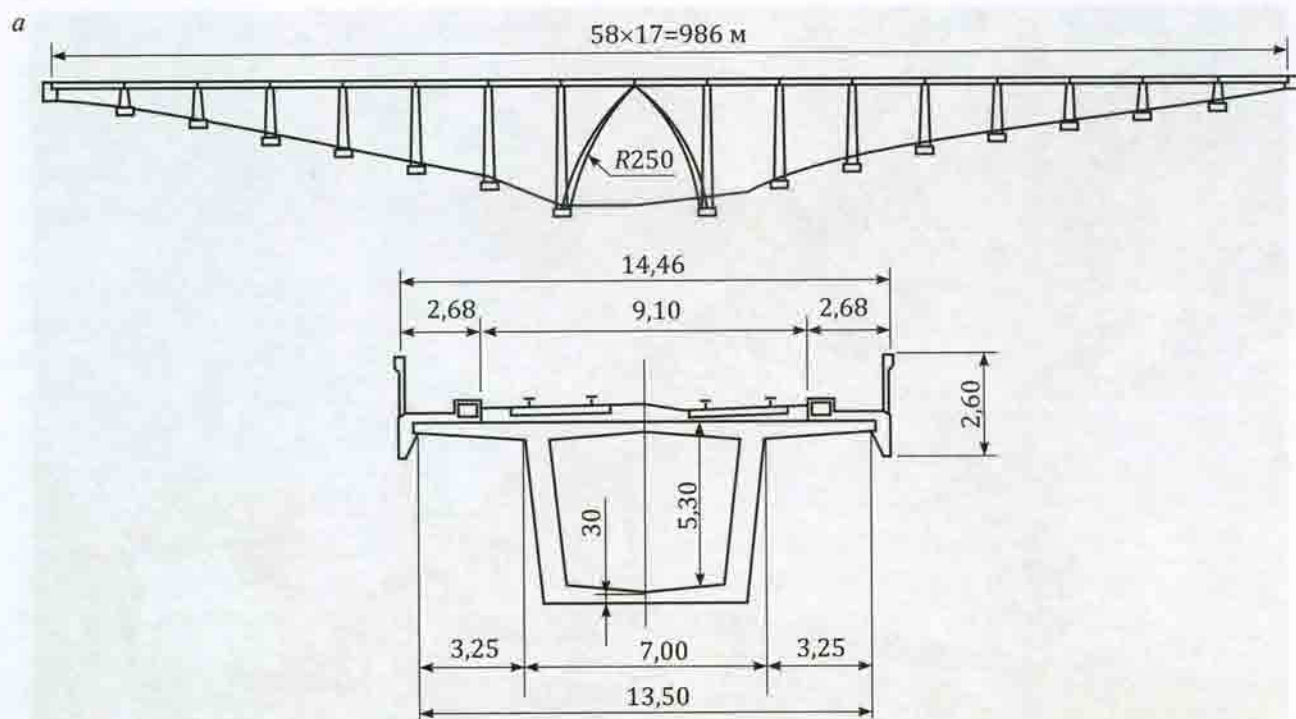
мать значительные продольные усилия, а уравнильные приборы устраиваются над обоими устоями.

В случае, если промежуточные опоры не обладают достаточной изгибной жесткостью, то между торцами крайних пролетных строений и шкафными стенками устоев размещают специальные гидравлические амортизаторы, которые при действии кратковременных нагрузок (сил тяги или торможения поезда), работая как неподвижные опорные части, передают на устои продольные усилия до 4000 кН. Амортизаторы не препятствуют температурным деформациям, протекающим относительно медленно и не создающим реактивных продольных усилий. Недостатком использования гидравлических амортизаторов является необходимость их постоянного технического обслуживания.

Примером сооружения, в котором применены амортизаторы, может служить виадук Бартельсграбен на высокоскоростной

магистрали Ганновер — Вюрцбург. Длина виадука составляет 1160 м, высота над уровнем дна долины р. Майн — 55 м. Виадук имеет 20 разрезных балочных коробчатых железобетонных пролетных строений длиной по 58 м каждое, объединенных в продольном направлении в четыре блока. Продольные усилия, возникающие при торможении или ускорении поезда, передаются на устои через гидравлические амортизаторы, работающие только на сжатие. При этом не требуются анкерные крепления устоев в теле насыпей, уравнивающие действие горизонтальных усилий, направленных в сторону пролета.

Удачное сочетание типовых решений с особенностями местных условий получило воплощение в конструкции виадука Ромбах на линии Ганновер — Вюрцбург (рис. 8.11). Его длина более 1000 м при высоте проезда над уровнем дна долины 95 м. Пролеты перекрываются разрезными железобетонными балочными строениями длиной



б



Рис. 8.11. Виадук Ромбах: *a* — схематическое изображение фасада и поперечное сечение с размерами; *б* — общий вид

по 58 м, объединенными по торцам специальными соединительными устройствами. На устоях и на всех промежуточных опорах, кроме центральной, расположены подвижные опорные части. Неподвижные опорные части установлены над находящейся в наиболее глубоком месте долины средней опорой, образованной двумя наклонными стойками. Устроенная таким образом жесткая опора воспринимает продольные усилия без значительных деформаций. По концам виадука установлены уравнительные приборы бесстыкового рельсового пути, компенсирующие продольные перемещения.

Одним из интересных мостовых переходов последних лет, сооруженных на высокоскоростных магистралях, стал мост через р. Эбро на ВСМ Мадрид — Барселона (рис. 8.12). Строительство моста было закончено в 2002 г. Мостовой переход представляет собой сооружение с центральным русловым пролетом 120 м. Пролетное строение выполнено в виде замкнутой фермы

с ездой понизу из монолитного предварительно напряженного железобетона. Ширина фермы в уровне проезда составляет 16,56 м, высота — 9,65 м, высота подмостового габарита — 15 м. В боковых стенках фермы сделаны круглые отверстия. Весь облик белоснежного моста на фоне каменистого пейзажа с редкой растительностью представляется примером удачного архитектурного решения.

Как отмечалось ранее, в целом на высокоскоростных магистралях Западной Европы, Японии при строительстве мостов и других искусственных сооружений преимущественное распространение получили железобетонные пролетные строения. Объясняется это рядом причин: более высокой стоимостью стали; меньшей чувствительностью железобетонных конструкций к динамическим воздействиям; климатическими условиями, позволяющими сооружать монолитные железобетонные конструкции мостов при положительных температурах воздуха большую часть года,

а



Рис. 8.12 (начало). Мост через р. Эбро: а — вид со стороны реки



Рис. 8.12 (окончание). Мост через р. Эбро: б — вид вдоль путей. Испания. 2002 г.

а также сравнительно меньшими трудозатратами на строительство, текущее содержание железобетонных пролетных строений по сравнению со стальными.

Тем не менее, в КНР при сооружении мостов на высокоскоростных магистралях, наряду с железобетонными конструкциями, широко распространены стальные пролетные строения (рис. 8.13). В последние годы при строительстве ВСМ в случае пересечения широких рек, проливов все большее применение находят вантовые мостовые конструкции. Они использовались при строительстве высокоскоростных железнодорожных магистралей в Италии (рис. 8.14); в КНР; при сооружении мостового тоннельного перехода через пролив Эресунн между материком и островом Зеландия на будущем высокоскоростном маршруте между Швецией и Данией.

За рубежом на высокоскоростных магистралях на всех мостовых сооружениях (мостах, путепроводах, эстакадах, виаду-

ках) устраивается бесстыковой путь, который благодаря отсутствию рельсовых стыков позволяет повысить скорость движения поездов и комфортабельность езды и уменьшить динамические воздействия подвижного состава на элементы мостовых конструкций, снизить коррозию металла за счет сокращения утечки тяговых и сигнальных токов, а также понизить шум и вибрацию.

Однако применение бесстыкового пути на мостовых переходах большой длины имеет ряд особенностей. Бесстыковой путь, уложенный на мосту, работает в более тяжелых условиях, чем на земляном полотне. В пределах земляного полотна при изменении температуры рельсов на величину t в достаточно протяженной рельсовой плети возникают приблизительно равномерные по длине температурные усилия N_t (растяжения или сжатия). В зоне мостового сооружения в результате совместной работы с деформируемыми пролетными строе-



Рис. 8.13. Мостовой переход через р. Янцзы на ВСМ Пекин — Шанхай. КНР. 2010 г.



Рис. 8.14. Мостовой переход через р. По на высокоскоростной железнодорожной магистрали Милан — Венеция в процессе строительства. Италия. 2010 г.

ниями и опорами путь испытывает дополнительные усилия, вызванные изменением температуры самой плети.

Для точной оценки напряженного состояния бесстыкового пути на мосту и подходах к нему приходится также учи-

тывать ряд других факторов: сосредоточенное воздействие колес подвижного состава на рельсы, переломы продольного профиля пути над опорами, их неравномерные осадки, влияние предмостовых неровностей пути.

Дополнительные усилия в элементах системы «мост — бесстыковой путь» в значительной степени зависят от типа мостового полотна. В мировой практике применяют два типа мостового полотна: «безбалластное» — на поперечинах (деревянных или металлических) или железобетонных плитах и «балластное» — на железобетонных шпалах и щебеночном балласте, уложенном в балластном корыте.

В европейских странах (Италия, Франция, Испания) для скорости движения 250—350 км/ч путь с железобетонными шпалами на щебеночном балласте (рис. 8.15, а) считается предпочтительным и экономически оправданным. На искусственных сооружениях бесстыковой путь на железобетонных шпалах укладывают на щебеночный балласт, помещаемый в едином для двух путей железобетонном или металлическом балластном корыте. Такая конструкция идентична пути на земляном полотне по характеристике его вертикальной жесткости и обеспечивает повышенную комфортабельность проезда благодаря близким значениям упругих характеристик подрельсового основания на мосту и на других участках пути. Применение такой конструкции снижает уровень шума при проходе поезда по мосту, позволяет использовать при содержании и ремонте пути на земляном полотне и мостовых переходах единый комплекс специализированных путевых машин.

На мостах с «ездой на балласте», при наличии балластного корыта путь более ус-

тойчив против температурных выбросов, чем на земляном полотне. Тем не менее, опасность выбросов пути на таких мостах существует. Это связано с рядом факторов: возникновение в рельсах температурных сжимающих сил, специфические деформации пролетных строений, уменьшение сопротивления сдвигу рельсо-шпальной решетки из-за вибрации стальных пролетных строений и т.д. Все это заставляет использовать на ВСМ специальную конструкцию бесстыкового пути на мостах, повышающую его устойчивость против выброса.

Вместе с тем, в Германии в последние годы начинают внедрять конструкции верхнего строения пути с безбалластным основанием (рис. 8.15, б). Поиски инженерных решений укладки безбалластного мостового полотна связаны с более высокими эксплуатационными затратами на содержание бесстыкового пути на балласте.

Достоинством безбалластного мостового полотна является повышенная устойчивость рельсо-шпальной решетки против выбросов. Однако при такой конструкции жесткость связей между рельсами и подрельсовым основанием резко возрастает, что приводит к увеличению осевых (продольных) усилий в рельсах под воздействием температурных и динамических факторов. Кроме того, для уменьшения шума, вибрации и контактных напряжений в рельсах необходимо устанавливать специальные упругие прокладки между рельсами и плитой, а также между плитой и главными балками пролетных строений.

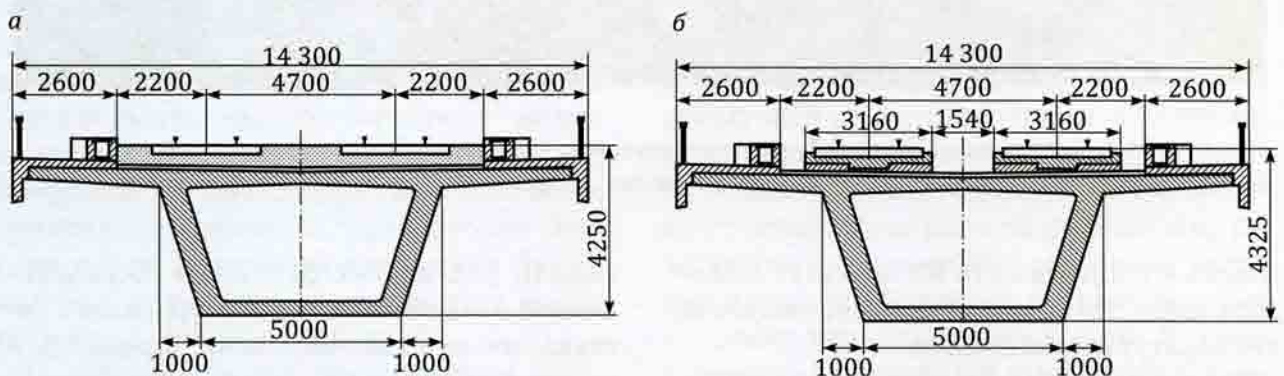


Рис. 8.15. Поперечные сечения железобетонных пролетных строений моста ВСМ: а — с балластным мостовым полотном; б — с железобетонными плитами. Германия. 1998 г.

Для уменьшения температурных напряжений в рельсовых плетях на мостах, виадуктах и эстакадах длиной более 200—300 м предусматривают уравнильные приборы, обеспечивающие продольные перемещения концов рельсовых плетей; необходимость применения приборов решается в каждом конкретном случае в зависимости от местных климатических условий, конструкции пролетных строений, схемы расположения и типа опорных частей и ряда других факторов.

В условиях постоянно повышающихся требований к охране окружающей среды проектировщики и строители искусственных сооружений, в том числе и на ВСМ, все больше внимания уделяют поиску безопасных с экологической точки зрения технологий производства работ.

В последние годы у защитников окружающей среды неприятие вызывают, как правило, не сами высокоскоростные магистрали. Большинство экологов оценили их несомненные достоинства. Протесты обще-

ственности и тревогу ученых порождают негативные последствия процесса строительства ВСМ, особенно, на ценных и уникальных территориях, сельскохозяйственных угодьях, поскольку под строительные площадки мостов приходится на несколько лет занимать большие территории с их последующей рекультивацией (рис. 8.16).

После завершения строительства и рекультивации территории при удачных инженерных и архитектурных решениях мосты, эстакады, путепроводы могут действительно органично войти в ландшафт. Площадь фундамента опоры эстакады может составлять всего 4—6 м², практически вплотную к ней могут произрастать деревья, кустарники, сельскохозяйственные культуры. Но сам процесс строительства, продолжающегося иногда несколько лет, может нанести большой урон живой природе. Ведь для его обеспечения необходима организация (пусть временных — на несколько лет) строительных площадок, прокладка подъездных технологических дорог,



Рис. 8.16. Строительная площадка мостового перехода на ВСМ. Франция

складов строительных материалов, песка, щебня и т.п.

Для решения этих проблем и сведения до минимума негативного воздействия на окружающую среду в процессе сооружения ВСМ были разработаны различные щадящие технологии. В частности, при сооружении эстакадных переходов магистрали через особо ценные территории (леса, парки, сельскохозяйственные земли), применяется так называемый метод, который иногда называют строительством «с головы», в отличие от организации строительных работ широким фронтом (рис. 8.17).

При использовании этого метода строительная площадка с необходимым технологическим оборудованием, складами, бетоносмесительными установками и т.п. размещается за пределами той особо ценной территории, по которой пройдет эстакада, а сооружение объекта ведется без вступления человека и техники на землю. Все работы проводятся «с головы» самой строящейся эстакады. Ее готовые участки используются как подъездной путь для подачи строительных материалов и вывоза грунта.

Основой строительного комплекса служит конструкция в виде консольной металлической фермы. Ферма опирается одним концом на готовую часть эстакады (на рисунке — ее правый конец), а серединой — на временную опору (обозначена цифрой 7), которая также является передвижной опалубкой для бетонирования постоянной опоры эстакады. Последовательность действий при сооружении эстакады: *Позиция 1.* Грейферными ковшами, которыми оснащены стационарный или передвижной краны 5 отрывается котлован для фундамента опоры эстакады. Стенки котлована укрепляются конструкциями ограждения. Извлеченный грунт 6 поднимается на консоль фермы и вывозится за пределы особо охраняемой территории самосвалами, передвигающимися по ферме и готовой части эстакады. С помощью бетононасосов, передвигающихся по ферме, бетонируется фундамент опоры. *Позиция 2.* На готовый фундамент опоры эстакады устанавливается временная опора — опалубка опоры эстакады 7, которая бетонируется с помощью автомобилей-бетононасосов 8. Бетон под-

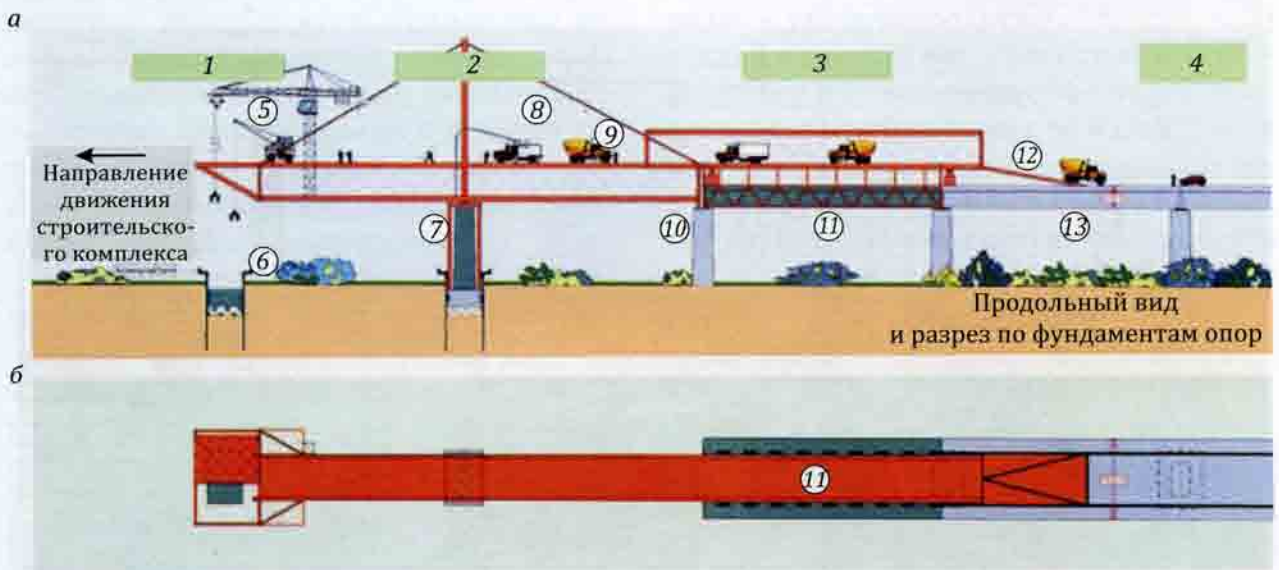


Рис. 8.17. Возведение эстакады для автомобильной или железной дороги методом строительства «с головы» или «перед головой»¹ на особо ценных территориях без устройства на них стройплощадок, временных технологических дорог, складов и т.п. Схема реализации проекта эстакады на ВСМ Эрфурт — Галле (Германия): а — продольный вид и разрез по фундаментам опор; б — план; 1, 2, 3, 4 — позиции возведения эстакады

¹ Нем.: Bouverfahren von Kopf — система строительства перед головой.



Рис. 8.18. Строительство малого искусственного сооружения — автомобильно-пешеходного тоннеля, одновременно с отсыпкой земляного полотна. Испания. 2007 г.

возится автобетоносмесителем (автомобилем-миксером) 9. *Позиция 3.* Бетонирование с помощью передвижной опалубки пролетного строения эстакады 11. *Позиция 4.* Готовый участок эстакады от опоры 10 — после того как бетон опоры 7 и пролетного строения 11 наберут нужную прочность, ферма строительного комплекса перемещается на одну позицию вперед (на рисунке — влево). Цикл повторяется до сооружения всей эстакады; 10 — готовая опора; 12 — металлическое передвижное технологическое пролетное строение; 13 — готовый участок эстакады.

Как и при устройстве обычных железных дорог на ВСМ возводятся небольшие искусственные сооружения: водопропускные трубы, пешеходные надземные и подземные переходы, скотопрогоны. Водопропускные трубы, как правило, сооружают из железобетона, реже используют стальные гофрированные трубы. Малые искусственные сооружения чаще всего возводят одновременно с отсыпкой земляного полотна (рис. 8.18).

8.4. Общие сведения о тоннелях

Тоннели на путях сообщения являются не только средством преодоления высотных препятствий, но и сооружениями, предназначенными улучшить эксплуатационные качества магистралей в горном рельефе, встречающихся на пути контурных препятствий в виде широких водотоков, морских акваторий, охранных зон. Особенно важно устройство тоннелей на высокоскоростных магистралях, поскольку это позволяет значительно сократить длину трассы (рис. 8.19).

На рис. 8.20 приведена схема нового Готтардского (Gotthard)¹ базисного² тоннеля, предназначенного для движения высокоскоростных поездов, из которой видно, как сокращается длина железной дороги при строительстве нового тоннеля. Естественно, такие тоннели имеют большую длину

¹ В русскоязычной географической, справочной литературе, в официальных изданиях карт и атласов утвердилось название «Готтардский».

² Базисный тоннель — тоннель, порталы (входы) которого находятся у самого подножия хребта.



Рис. 8.19. Тоннель на ВСМ, Германия. На фото видно, что трассы построенных ранее железной дороги и автомобильного шоссе следуют вдоль речной долины, повторяя очертания ее берегов. ВСМ проложена в тоннеле по кратчайшему направлению

(что удорожает их строительство), но поезд попадает в тоннель непосредственно с равнинного участка, что позволяет увеличить скорость и массу поездов. Например, к порталам существующего старого Готтардского тоннеля поезд подходит по горным участкам с затяжными подъемами и множеством кривых (что хорошо видно на приведенной схеме). В печати встреча-

ется, ошибочный перевод названия тоннеля как «базовый».

В связи с ужесточившимися требованиями по охране окружающей среды, в частности, по сохранению природных ландшафтов, мест обитания редких животных и реликтовых растений, ценных сельскохозяйственных угодий, даже в условиях спокойного равнинного рельефа проекти-

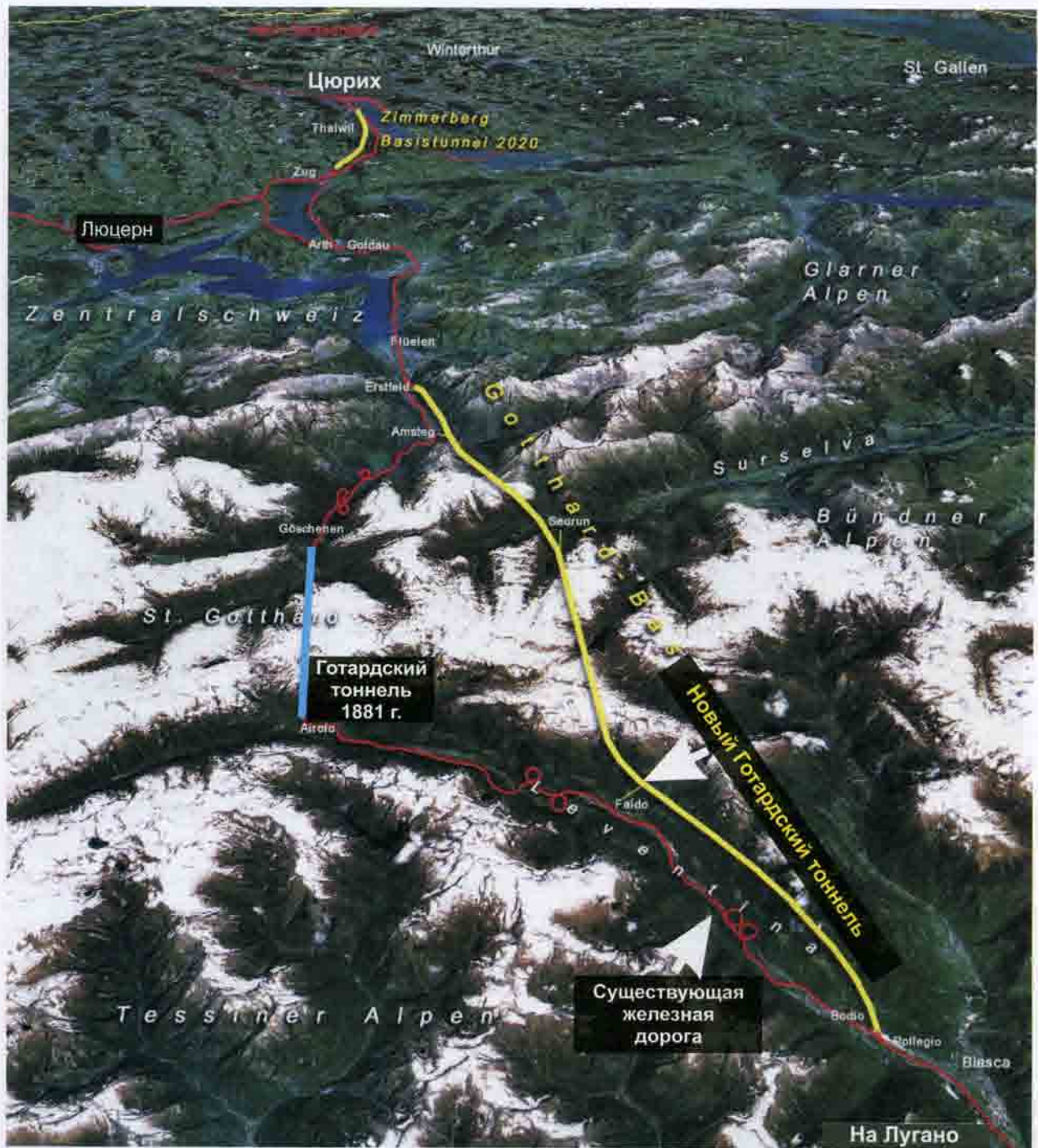


Рис. 8.20. На схеме показаны существующий с 1881 г. Готардский тоннель (трасса показана линией голубого цвета), подходы к нему (линия красного цвета) от Цюриха на Лугано, новый Готардский тоннель (линия желтого цвета), между пунктами Боди и Эрстфельд (указан стрелкой)

ровщикам ВСМ приходится прокладывать железнодорожные пути в тоннелях.

В качестве примера можно назвать высокоскоростную линию, соединяющую западный портал тоннеля под Ла-Маншем с Лондоном, где поезда двигаются со скоростью до 300 км/ч (в тоннелях — до 250 км/ч).

Часть линии протяженностью 108 км проложена в тоннелях вследствие требований, продиктованных экологическими соображениями — сохранение ценных природных территорий. Устройство тоннелей на ВСМ «Юг», в условиях равнинной местности в Нидерландах, также было продиктова-



Рис. 8.21. Участок на подходе ВСМ «Юг» к portalу тоннеля, проложенного под польдером. Нидерланды. 2007 г.

но требованиями сохранения окружающей среды — уникальных сельскохозяйственных угодий — польдеров¹ (рис. 8.21). Проекты, выполненные в последние годы в разных странах, показывают, что при пересечении протяженных водных преград ВСМ по совокупности факторов в сравнении с мостовыми переходами очень часто предпочтительными являются тоннельные варианты.

«Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» в перспективе намечена прокладка ВСМ на южном и восточном направлениях, где, несомненно, будут сооружаться тоннели. В силу этого полезно знакомство с особенностями строительства и эксплуатации тоннелей на зарубежных вы-

сокоскоростных железнодорожных магистралях.

Рассмотрим примеры действующих и проектируемых тоннелей на ВСМ в различных странах. Они в известной мере показательны как в плане эффективности использования тоннельных пересечений для обеспечения высоких качеств магистрали и безопасности скоростных перевозок, так и с позиций принятых объемно-планировочных решений, гарантирующих безопасную эксплуатацию сооружения при скорости поездов в тоннеле до 250 км/ч.

В Европе движение поездов со скоростью 250 км/ч было впервые осуществлено в Италии на линии Рим — Флоренция, строительство которой продолжалось около 30 лет и окончилось в 1978 г. Длина пути в тоннелях составила 32 % протяженности магистрали (254 км), а стои-

¹ Польдер (от нидерл. — polder) — осушенный и возделанный низменный участок побережья.

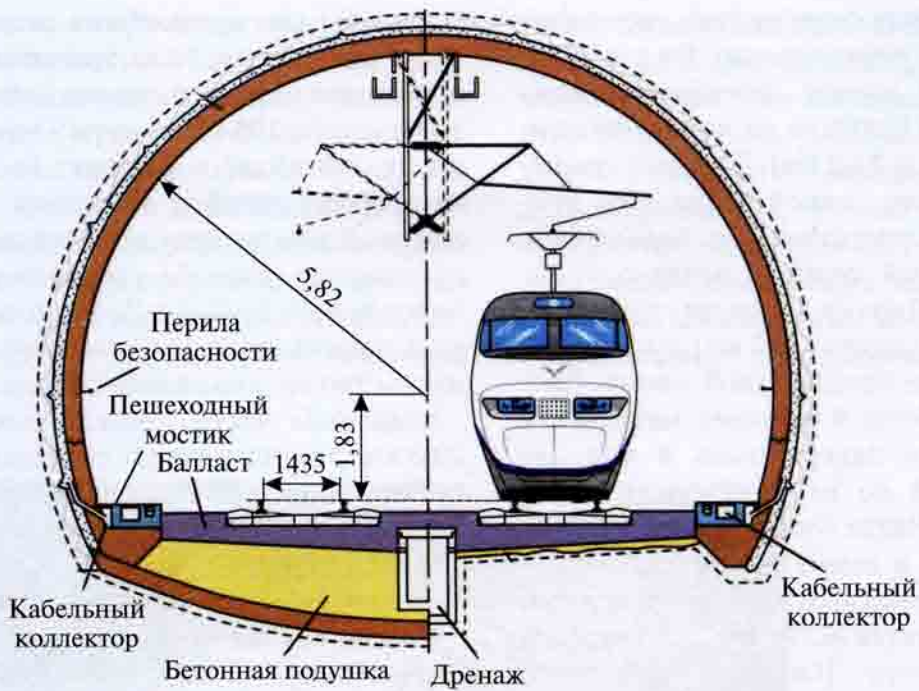


Рис. 8.22. Поперечное сечение двухпутного тоннеля на ВСМ Мадрид — Севилья

мость тоннелей — 50,3 % общих затрат на ее строительство. На этой линии более 30 тоннелей, самые протяженные из них Орте (9,3 км) и Сант-Оресте (5,7 км). Тоннели двухпутные с площадью поперечного сечения в свету $53,77 \text{ м}^2$. Геологические условия строительства были весьма трудными, проходка велась во вторичных породах, состоящих из выветрившегося известняка с карстовыми пустотами. Вследствие малой площади сечения скорость прохождения поездов через тоннели была ограничена 160 км/ч.

В настоящее время на строящихся ВСМ, в связи с повышением скорости движения поездов до 300 км/ч предусмотрено строительство тоннелей с увеличенной площадью поперечного сечения. Так, на участке ВСМ от Рима до Неаполя строится 25 тоннелей общей протяженностью 30 км. На железнодорожной магистрали Болонья — Флоренция, пересекающей Апеннинские горы, сооружаются тоннели общей длиной 85 км.

При прокладке испанской ВСМ Мадрид — Севилья протяженностью 471 км были преодолены по кратчайшему направлению Толедские горы. Строительство осуществля-

лось с января 1988 г. по июль 1990 г., пройдено 17 тоннелей общей длиной 15,8 км. Площадь поперечного сечения двухпутных тоннелей на ВСМ для улучшения аэродинамических условий следования высокоскоростных поездов составляет в свету $75\text{—}80 \text{ м}^2$ (рис. 8.22).

В Японии на ВСМ Токио — Осака из 515 км линии 13 % было проложено в тоннелях. На построенной позже высокоскоростной магистрали «Санъё Синкансэн» между городами Осака (о. Хонсю) и Хаката (о. Кюсю) построено 142 тоннеля, на участке этой ВСМ от города Окаяма до конечного пункта Хаката 55 % пути проложено в тоннелях. Самый длинный из них — подводный тоннель Син-Каммон¹ протяженностью 18,7 км — соединяет острова Хонсю и Кюсю.

Более сложными были условия строительства к северу от Токио ВСМ «Тохоку» и «Дзээцу». Так, на «Тохоку Синкансэн» путь

¹ Син-Каммон — Новый Каммон (япон.). Первый однопутный железнодорожный тоннель между островами Хонсю и Кюсю под проливом Симоносеки был проложен в начале 40-х годов XX в. и имел длину 3,6 км. Двухпутный тоннель Син-Каммон, значительно более протяженный, сооружался в 50-е гг. и был пройден по более благоприятной с точки зрения геологии трассе севернее существовавшего тоннеля.

на искусственных сооружениях составляет 94 % от общей длины линии. Десять крупных тоннелей имеют суммарную длину 57,7 км, самые большие из них — Фукусима и Зао (11,7 и 11,2 км). На «Дзёэцу Синкансэн» тоннели длиной более 3 км имеют суммарную протяженность более 90 км. Самый длинный горный железнодорожный тоннель Японии — двухпутный тоннель Хаккода (длина 26,5 км) на высокоскоростной железнодорожной линии. Проводческие работы в тоннеле начались в июле 1998 г. и завершились в феврале 2005 г. Второй по протяженности японский тоннель Ивате Ичиноэ расположен на той же линии и имеет длину 25,8 км.

Самым протяженным в мире подводным тоннелем является «Сейкан» (53,8 км) под проливом Цугару (Сангарский пролив) между японскими островами Хоккайдо и Хонсю, который сооружен для строящейся высокоскоростной магистрали (рис. 8.23). Строительство тоннеля велось с 1964 по 1988 год. Толчком к принятию решения о строительстве тоннеля, который надежно

связал бы два крупнейших острова Японского архипелага, была трагедия железнодорожного морского парома Тойя-Мару, затонувшего в 1954 г. на пути из порта Аомори (о. Хоккайдо) в Хакодате (о. Хонсю). В катастрофе погибло несколько сот пассажиров. В том же году правительство страны приняло решение о сооружении железнодорожного тоннеля. Около десяти лет велись изыскания и проектные работы. Строительство продолжалось 24 года.

Подводная часть тоннеля имеет длину 23,3 км, участок подхода со стороны острова Хонсю — 13,55 км, со стороны острова Хоккайдо — 17 км. В самом глубоком месте трассы (глубина пролива Цугару 140 м) тоннель проложен ниже дна на 100 м.

В связи со сложным рельефом местности значительное число тоннелей строится на ВСМ в Китайской Народной Республике, в Республике Корея, на Тайване.

В Европе в связи с организацией высокоскоростных железнодорожных сообщений на международных маршрутах уже реализованы, и осуществляются в настоящее

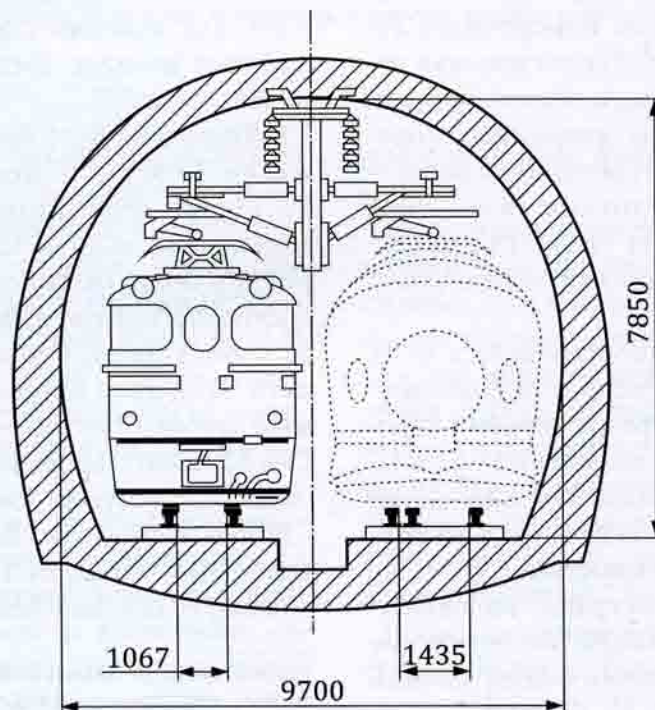


Рис. 8.23. Поперечное сечение двухпутного тоннеля Сейкан. Левый (на рисунке) путь предназначен для поездов узкой колеи (1067 мм); высокоскоростные поезда будут двигаться по правому пути, имеющему три рельса совмещенной колеи 1067/1435 мм

время несколько проектов тоннелей большой протяженности. Значительный интерес представляет высокоскоростная магистраль между Парижем и Лондоном, которая проложена через пролив Ла-Манш с помощью тоннельного пересечения длиной 50,5 км, включающего два параллельных тоннеля кругового очертания внутренним диаметром 7,6 м, находящихся на расстоянии 30 м друг от друга, и расположенный

между ними вспомогательный тоннель диаметром 4,8 м. (рис. 8.24, 8.25). Этот центральный тоннель после завершения строительства используется для целей технического обслуживания и проведения спасательных операций в чрезвычайных ситуациях. Собственно подводная часть тоннеля длиной около 38 км лежит на глубине 25—45 м ниже дна пролива. Из-за сравнительно небольшого поперечного сечения тон-

а



б



Рис. 8.24. Тоннель под Ла-Маншем на ВСМ Лондон — Париж в процессе завершения строительства: а — механизированный проходческий комплекс; б — пройденный участок тоннеля. На рис. (б) виден желоб в центре тоннеля, куда будет уложен путь, и широкая бетонная полка вдоль левой стены, предназначенная для высадки пассажиров из поездов в аварийных ситуациях, используемая также как путь эвакуации людей при проведении аварийно-спасательных работ

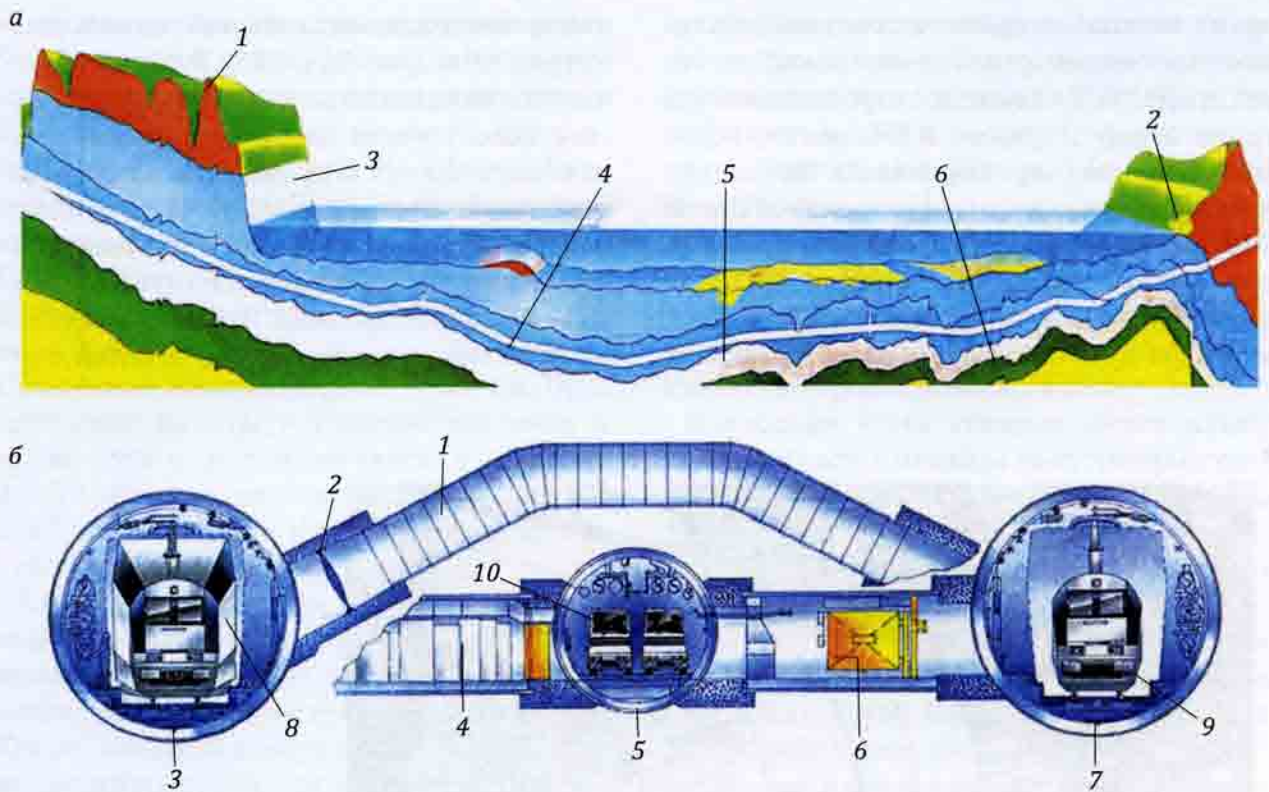


Рис. 8.25. Геологический разрез (а) и схема эксплуатационных сооружений (б) тоннеля под проливом Ла-Манш (на рисунке Англия слева): 1 и 2 — аллювиальные береговые отложения; 3 — белый и серый мел; 4 — меловой мергель; 5 — мергелистая уплотненная глина; 6 — зеленый (глауконитовый) песок; б (читатель смотрит на сечение тоннеля со стороны Англии): 1 — соединительные разгрузочные каналы (служат для уравнивания давления воздуха в основных тоннелях при движении поездов), размещенные с интервалом 250 м; 2 — поршневой разгрузочный клапан; 3 — северный железнодорожный тоннель; 4 — типовое техническое помещение; 5 — центральный вспомогательный тоннель; 6 — типовая поперечная сбойка с перегородкой, через каждые 350 м; 7 — южный железнодорожный тоннель; 8 — челночный грузовой поезд для перевозки автотранспорта между терминалами на английском и французском берегах пролива; 9 — высокоскоростной пассажирский поезд; 10 — автодорога для передвижения специальных автомашин (обслуживания, пожарных, медицинских) во вспомогательном тоннеле

нея ($45,4 \text{ м}^2$) в нем установлена максимальная скорость движения поездов всего 160 км/ч .

Помимо высокоскоростных пассажирских поездов, в тоннеле обращаются и грузовые поезда, состоящие из специальных закрытых платформ для перевозки легковых автомобилей, грузовиков-трейлеров и автобусов. Общие размеры движения — около 360 пар поездов в сутки. Тоннель под Ла-Маншем является соединительным звеном между железнодорожными сетями Великобритании и континентальной Европы и обеспечивает проезд из Лондона в Париж за 2,5 часа. Строительство велось с 186

1987 по 1994 г. и обошлось в 17 млрд долларов США.

Значительную роль в создании единой общеевропейской высокоскоростной железнодорожной сети играют железные дороги Швейцарии, расположенной в центре Западной Европы. Для улучшения сообщения внутри страны и международной связи Север — Юг завершается проект создания новых тоннелей, предназначенных для движения пассажирских поездов со скоростью до 250 км/ч и грузовых — до 160 км/ч . Запланированы два новых маршрута: Готардский на направлении Цюрих — Лугано (рис. 8.26, 8.27) и Лёчберг-



Рис. 8.26. Схематическое изображение Готтардского базисного тоннеля



Рис. 8.27. Готтардский базисный тоннель: строительство подземной многофункциональной станции Файдо. Соединительный тоннель между главным западным и главным восточным туннелями для устройства съезда между главными путями. 2006 г.

ский (Берн — Бриг), которые пройдут параллельно существующим железным дорогам, уже исчерпавшим резервы пропускной способности.

В проектах новых линий предусмотрено строительство базисных тоннелей: Готардского длиной 57 км (суммарная длина, включая служебные тоннели — 151,8 км) и Лёчбергского (Lötschberg) — 36 км. На трассе приняты максимальные уклоны 12,5 ‰ и минимальные радиусы кривых 4000 м, что позволит пропускать с высокой скоростью пассажирские поезда типа французских TGV или немецких ICE.

Каждая линия будет включать как существующие реконструированные тоннели, так и новые — базисные, состоящие из двух однопутных тоннелей диаметром по наружной обделке 9,4 м, соединенных на всем протяжении многочисленными сбойками. В 2007 г. был введен в эксплуатацию Лёчбергский базисный тоннель, сооруженный исходя из принятой в Швейцарии транспортной концепции NEAT (нем. — Neue Eisenbahn-Alpentransversale — Новая железнодорожная магистраль через Альпы).

В 2010 г. 15 октября была завершена проходка Готардского тоннеля, который стал самым длинным горным тоннелем в мире. Ввод его в эксплуатацию планируется в 2017 г. С открытием этого тоннеля время в пути поездом из Цюриха в Милан сократится с 3 ч 40 мин до 2 ч 50 мин. Очень важно, что ввод в строй тоннеля должен практически полностью исключить проезд на этом направлении тяжелых грузовиков-трейлеров, которые планируется перевозить после 2017 г. только по железной дороге.

Готардский базисный тоннель (см. рис. 8.26) имеет две подземные станции Седрун (Sedrun) и Файдо (Faido) — расположенные под одноименными горными поселками, на каждой из которых устроены съезды между главными путями. На станциях имеются платформы для посадки и посадки пассажиров. Станции предназначены как для обеспечения технического обслуживания базисного тоннеля, так и для проведения в случае необходимости спа-

сательных работ и экстренной эвакуации пассажиров. Станция Седрун оборудована пассажирскими лифтами, размещенными в двух изолированных стволах. На станции Файдо устроен выход на поверхность с помощью наклонного вспомогательного тоннеля. Съезд между главными путями устроен также на пункте доступа Амстег (Amsteg), где непосредственно в главных тоннелях имеются пассажирские платформы для экстренной высадки пассажиров и вспомогательный тоннель для выхода на поверхность земли.

В настоящее время рассматривается предложение частных инвесторов преобразовать в процессе достройки Готардского базисного тоннеля комбинированную техническую спасательную станцию «Седрун» в полноценную пассажирскую станцию (под названием «Порта Альпина» — «Porta Alpina») с надлежащей пассажирской инфраструктурой (рис. 8.28). Инвесторы планируют, в случае реализации этого проекта, создать в районе поселка Седрун курортную зону.

Для создания общей европейской высокоскоростной железнодорожной сети важным является сооружение нового трансальпийского тоннеля, который объединит ВСМ Франции и Италии на направлении Лион — Турин. Для реализации проекта 22 декабря 1994 г. была образована «Группа Европейского экономического участия — Альпитаннел», задачей которой была координация совместных работ двух стран и участие ЕС в осуществлении проекта. С 1990 по 1998 г. проводились геодезические и геологические изыскания по трассе будущего тоннеля, бурение многочисленных скважин, осуществлялись проектные работы.

Планируется, что основной тоннель длиной около 52 км на линии Лион — Турин, названный Д'Амбин, пройдет в районе седловины на границе Грайских и Коттских Альп (рис. 8.29). Новое пересечение Д'Амбин будет сооружено в виде двух однопутных тоннелей, соединенных на всем протяжении сбойками. Примерно посередине трассы тоннеля в толще горного массива пла-



Рис. 8.28. Макет станции «Порта Альпина»: пассажирские платформы на первом этаже соединяют с распределительным залом и залом ожидания на втором и третьем этажах эскалаторы и лестницы; с третьего этажа скоростные лифты доставляют пассажиров на поверхность



Рис. 8.29. Схема вспомогательного эвакуационного тоннеля Модан (а) и схема тоннеля Д'Амбин ВСМ Лион — Турин (б)

нируется построить подземную станцию ВСМ, расположенную в самой высокой части тоннеля, который будет иметь равномерное понижение к обоим порталам с уклоном 10 ‰. Одним из назначений подземной станции является обеспечение эвакуации пассажиров в случае чрезвычайной ситуации; в связи с этим станция будет соединена с поверхностью скоростными лифтами. Строительство намечено завершить к 2016 г.

В последние десятилетия при сооружении подводных транспортных тоннелей получила развитие технология строительства с применением опускаемых секций, изготовленных из железобетона. При таком методе по трассе будущего тоннеля на дне

водоема отрывается траншея. В нее погружаются изготовленные на берегу на специальной строительной площадке (в доке) железобетонные секции (блоки) в виде трубчатых элементов будущего тоннеля. Они доставляются по воде к месту будущей укладки, здесь затопливаются в нужное место и стыкуются с соседними секциями, с тщательной герметизацией соединительных швов.

Опущенные в траншею секции засыпаются сверху слоем песка, а затем скальным грунтом толщиной несколько метров для защиты тоннеля от случайных повреждений. После укладки, стыковки и герметизации всех подводных секций из тоннеля откачивают воду и производят его внут-

а



б



Рис. 8.30. Строительство тоннеля «Мармарай» под Босфором: а — железобетонная секция тоннеля в процессе транспортировки к месту установки; б — внутренний вид строящегося тоннеля



Рис. 8.31. Цепочка малых тоннелей на трассе ВСМ в Южной Корее

ренное обустройство. К подводной части тоннеля устраивают береговые участки подходных тоннелей.

Именно методом погружения железобетонных секций строится в настоящее время в Турции подводный железнодорожный тоннель Мармарай¹ под проливом Босфор — важная составляющая часть высокоскоростной магистрали Анкара — Стамбул, движение по которому планируют открыть в 2013 г. Тоннельное пересечение имеет общую длину 13 558 м, его подводная часть — 1387 м. Тоннель является многофункциональным: планируется его использовать в сети городского, пригородного рельсового транспорта, а также для связи азиатской и европейской частей железнодорожной сети Турции.

Подводная часть этого двухпутного тоннеля (каждый путь проложен в отдельной

трубе, которые объединены в единую секцию) строилась путем погружения бетонных блоков в траншею, отрытую на дне пролива (рис. 8.30). Укладка всех секций тоннеля была закончена еще в 2008 г., в настоящее время завершается обустройство подходных тоннелей, строятся три подземные станции. Подходные тоннели береговой части сооружаются трехпутными с обгонными съездами, что позволит увеличить пропускную способность всего тоннельного пересечения. Открытие тоннельного пересечения намечено на 2013 г., а в 2014 г. планируется ввод в эксплуатацию завершающего участка Эскишехир — Стамбул ВСМ Анкара — Стамбул длиной 553 км.

Устройство трассы ВСМ по кратчайшему направлению на пересеченной местности и в селитебных зонах, как правило, требует прокладки нескольких небольших по протяженности тоннелей (рис. 8.31). Часто их целесообразно сооружать открытым спосо-

¹ Мармарау (от турецкого Marmara — Мраморное море и ау — рельс).

а

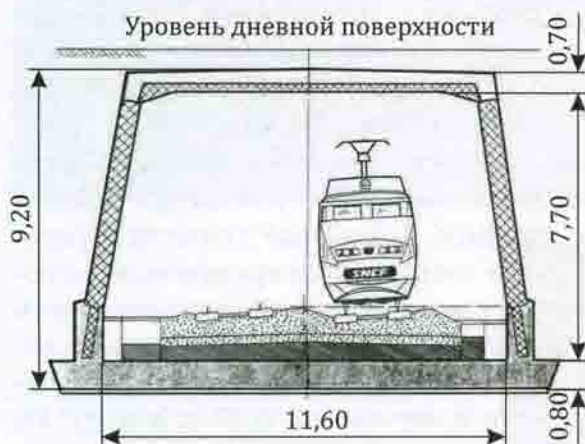


б



Рис. 8.32. Сооружение тоннеля открытым способом: а — общий вид; б — вид со стороны портала

а



б

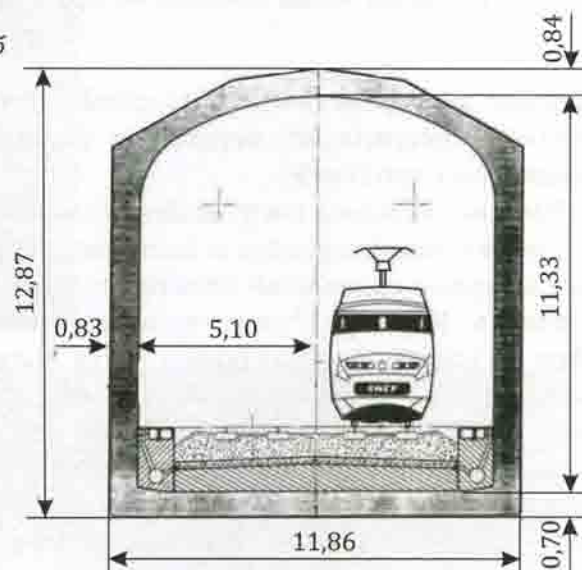


Рис. 8.33. Примеры поперечных сечений малых тоннелей, сооружаемых открытым способом на ВСМ Франции с различными видами отделки: а — сборной; б — монолитной

бом. При этом по трассе будущего тоннеля отрывается выемка, в которой монтируют сборные или сооружают монолитные железобетонные конструкции тоннеля, после чего выемку засыпают землей и на ее

поверхности проводят рекультивацию территории, в необходимых случаях — с посадкой растительности (рис. 8.32, 8.33, а также гл. 3, рис. 3.7).

8.5. Особенности тоннелей на высокоскоростных линиях

При строительстве высокоскоростных магистралей наиболее трудоемкими искусственными сооружениями являются тоннели, которые при больших скоростях движения требуют особых конструктивных решений: увеличения сечения, улучшения аэродинамических характеристик внутренней поверхности обделки, расположения тоннеля на прямой или в кривых больших радиусов.

С развитием высокоскоростных железнодорожных магистралей возникают специфические проблемы, связанные с движением поездов в тоннелях. Одна из них — взаимодействие поезда с воздушной средой (рис. 8.34). При этом необходимо изучение и учет таких явлений, как возникновение резкого перепада давления при входе в тоннель и выходе из него или при встрече поездов в двухпутных тоннелях. Значительные перепады давления оказывают воздействие на пассажиров (появляются неприятные ощущения: боль в ушах, а в редких случаях — даже кровотечение из носа). Для предотвращения неприятных последствий необходимо особое устройство систем вентиляции вагонов, в частности, применение в вагонах предохра-

тельных клапанов. Ударная волна, образующаяся при выходе поезда из тоннеля, носит взрывообразный характер и причиняет беспокойство находящимся вблизи портала тоннеля людям, в отдельных случаях приводит к повреждению стекол в близлежащих домах. Ударная волна представляет опасность для оборудования, размещенного в тоннеле.

Для смягчения воздушных ударов при входе и выходе поездов из тоннелей используют ступенчатые и решетчатые конструкции обрамления порталов (рис. 8.35), которые растягивают фронт ударной волны и уменьшают перепады давления в единицу времени. С этой же целью носовая часть оконечных вагонов высокоскоростных поездов удлинняется, ей придается заостренная веретенообразная форма, очертания которой определяются в процессе аэродинамических расчетов и испытаний (рис. 8.36).

При движении в тоннелях увеличивается сопротивление воздуха, для преодоления которого требуется повышенный расход энергии на тягу поездов. Указанные воздействия развиваются пропорционально квадрату скорости движения, что следует учитывать при организации регулярного движения поездов со скоростью более 200 км/ч. При проектировании тоннелей большой длины и разработке их вентиля-



Рис. 8.34. Акустические и вибрационные явления при проходе высокоскоростного поезда в тоннеле



Рис. 8.35. Решетчатая конструкция обрамления портала тоннеля на ВСМ «Санъё», Япония



Рис. 8.36. Головной вагон поезда серии N700. Япония, 2008 г.

ционных систем необходимо также принимать в расчет теплоотдачу от подвижного состава (прежде всего из систем охлаждения тяговых электродвигателей, систем кондиционирования воздуха в пассажирских салонах и другого электрооборудования) и нагревание воздуха от трения о наружные поверхности вагонов и локомотивов поезда. В ограниченном пространстве тоннеля при большой скорости движения поезда может наблюдаться значительное повышение температуры воздуха.

При следовании в тоннеле изменяются условия аэродинамического обтекания поезда. Так как пространство между стенками тоннеля и вагонами невелико, часть воздуха выталкивается из тоннеля, а другая обтекает поезд. Между головной и хвостовой частями его возникает разность давления, что увеличивает сопротивление движению. Изучение аэродинамических явлений, связанных с высокоскоростным движением поездов в тоннелях, не может основываться только на теоретических расчетах. Необходимо использовать экспериментальные методы для уточнения значимости различных зависимостей и параметров, полученных аналитическим путем.

Одна из первых теоретических работ «Коэффициент лобового сопротивления при высокой скорости в тоннеле» была выполнена в 1947 г. немецкими специалистами и опубликована в США (НАСА) в 1955 г. Во

Франции для изучения аэродинамических явлений были выбраны три тоннеля с небольшим поперечным сечением и высокой скоростью движения поездов: однопутный тоннель Рилли длиной 3400 м и площадью поперечного сечения 38 м^2 , в котором при проведении экспериментов было возможно движение со скоростью до 175 км/ч; двухпутный тоннель Баше (длина 425 м, поперечное сечение $40,9 \text{ м}^2$), в котором предусматривалась встреча поездов, следующих со скоростью 200 км/ч; двухпутный тоннель Алуэтт (1240 м, 41 м^2), представляющий собой перекрытую выемку с вентиляционными трубами, что позволяло изучать влияние таких труб на аэродинамические процессы при скорости движения более 200 км/ч.

Выполненные исследования показали зависимость воздушного сопротивления от длины и сечения тоннеля, скорости движения и длины обоих поездов, разницы во времени входа поездов в тоннель, типа поезда (сечение, форма головной и хвостовой части вагонов).

Строительство специализированных ВСМ и повышение скорости движения поездов в тоннелях до 160—250 км/ч¹ по-новому поставило вопрос о поддержании должного уровня безопасности при их эксплуатации. Высокая скорость движения усугу-

¹ В XIX—XX вв. скорость поездов в тоннелях не превышала 70—80 км/ч.

била проблемы безопасности движения в тоннелях, которые существовали и до появления ВСМ.

Проектировщиками, строителями и железнодорожниками, эксплуатирующими тоннели, рассматриваются, как основные, две группы возможных инцидентов, которые могут произойти при движении поездов.

Во-первых, столкновение поездов (лобовое и нагон одного поезда другим), сход подвижного состава с рельсов и его столкновение с конструкциями тоннеля, разрушение элементов подвижного состава в процессе движения, в том числе и по причинам воздействия злоумышленников (террористические акции).

Во-вторых, возникновение по различным причинам пожаров, в том числе и в результате инцидентов с подвижным составом, о чем говорилось выше, а также в результате злоумышленных, в том числе террористических действий (поджогов и подрывов). Пожары, которые часто возникают после описанных выше столкновений подвижного состава, многократно усиливают тяжесть последствий этих явлений. Современные высокоскоростные поезда, имеющие электрическую тягу, не несут запасов горючих жидкостей (например, жидкого топлива для дизельных двигателей, отопления вагонов, печей в вагонах-ресторанах). Однако, при столкновении на скорости около 200 км/ч поездов между собой и вагонов с неподвижными элементами тоннелей выделяется столь большое количество тепловой энергии, что возможно локальное возгорание отдельных элементов конструкции кузова, интерьеров салонов, изготовленных из пластика и даже из легких металлов на основе алюминия. Безусловно, при проектировании и изготовлении вагонов современных поездов принимаются все меры, чтобы снизить в их конструкциях наличие горючих материалов, однако даже незначительные возгорания, сильное искрение при авариях и катастрофах в ограниченном пространстве тоннеля вызывают задымление, провоцируют панику среди пассажиров, поэтому защите тоннелей и высоко-

скоростных поездов от пожаров придается первостепенное значение.

Особого внимания требуют тоннели, предназначенные для смешанного грузопассажирского движения. Так, в тоннеле под Ла-Маншем, как отмечалось ранее, помимо высокоскоростных пассажирских поездов регулярно проходят и грузовые поезда, в том числе поезда-челноки, на которых перевозятся легковые и грузовые автомобили. Несколько пожаров, которые случились в тоннеле под Ла-Маншем за годы его эксплуатации (впрочем, не имевшие катастрофических последствий), произошли именно из-за возгораний перевозимых автомобилей или грузов на них.

Как менее вероятные, но также не исключаемые полностью, рассматриваются возможные происшествия в тоннелях, вызванные техногенными и природными причинами: обрушение сводов и стенок тоннелей, затопление и т.п., вследствие сейсмических явлений, стихийных бедствий, строительных и других технических дефектов.

Безопасная эксплуатация тоннелей и организация бесперебойного движения по ним поездов обеспечивается принятием адекватных для данных условий инженерно-технических решений, использованием должных строительных технологий, надлежащей организации эксплуатации тоннелей, бесперебойным функционированием систем сигнализации и видеоконтроля, эффективной деятельностью служб оказания помощи и восстановления жизнедеятельности и эвакуации людей в аварийных ситуациях. В тоннелях ВСМ устраивают современные системы мониторинга ответственных конструкций, механизмов; устанавливают системы контроля состояния воздуха, видеонаблюдения (рис. 8.37).

Выше уже отмечалось, что двухпутные тоннели менее безопасны для организации движения поездов, чем однопутные. В двухпутных тоннелях при выходе находящегося на одном из путей подвижного состава (или его элементов) за пределы габарита, что может произойти в резуль-



Рис. 8.37. Центр управления эксплуатацией тоннеля под Ла-Маншем



Рис. 8.38. Автомобили спасателей на автомобильной дороге вспомогательного транспортно-технологического тоннеля тоннельного пересечения под Ла-Маншем

тате схода с рельсов или разрушения конструкции вагона, локомотива, велика опасность столкновения с ним подвижного состава, движущегося по второму пути.

Исходя из этого в последние десятилетия протяженные тоннели на двухпутных линиях сооружают, как правило, однопутными (под каждый путь устраивается свой особый тоннель). При этом через определенные промежутки (50—200 м) эти однопутные тоннели соединяют между собой аварийно-технологическими сбойками-переходами. Они позволяют в случае инцидента в одном из тоннелей обеспечить по соседнему прибытие аварийно-спасательных команд и организовать эвакуацию людей из аварийной зоны.

Часто на протяженных тоннелях, например, тоннель под Ла-Маншем, устраивают дополнительный вспомогательный центральный тоннель. Он предназначен для ведения ремонтных и других работ по обслуживанию основных тоннелей в процессе нормальной эксплуатации. В случае возникновения аварийных ситуаций по вспомогательному тоннелю обеспечивается движение к месту аварии команд спасателей, медицинского персонала, эвакуация людей (рис. 8.38), а также проводятся восстановительные работы. При строительстве тоннеля под Ла-Маншем существующий сегодня центральный вспомогательный тоннель

меньшего диаметра являлся опережающей штольной¹.

При строительстве тоннелей для ВСМ в некоторых случаях на всем его протяжении вдоль пути устраивают высокую бетонную платформу. Она позволяет безопасно и удобно высадить пассажиров из аварийно остановившегося поезда в любой точке тоннеля. Кроме того, платформа служит автомобильной дорогой для проезда аварийно-восстановительных команд, бригад скорой помощи и эвакуации людей (рис. 8.39).

Большое значение для безопасной эксплуатации тоннелей имеет устройство систем дренажа, водоотведения, перекачивающих насосов, систем вентиляции (включающих вентиляционные станции, а иногда и отдельные вентиляторы, расположенные вдоль тоннеля) (рис. 8.40), которые необходимы в аварийной ситуации при использовании для эвакуации пассажиров автотранспорта. Между отдельными секциями устраивают также двери, в том числе, герметичные (рис. 8.41). На рис. 8.42 показана схема организации аварийной вентиляции на примере тоннеля Гвадаррама (Gua-

¹ В процессе строительства тоннеля проходка опережающей штольной велась раньше основных тоннелей большого диаметра, что, помимо решения необходимых транспортно-технологических вопросов, позволяет также уточнять геологическую ситуацию впереди по трассе тоннеля.



Рис. 8.39. Тоннель мелкого заложения с эвакуационной платформой для высадки пассажиров (слева) и аварийно-эксплуатационной дорогой (справа) ВСМ «Юг», Нидерланды. 2008 г.



Рис. 8.40. Струйный вентилятор в тоннеле ВСМ «Юг», Нидерланды. Как правило, подобные вентиляторы устанавливаются в автомобильных тоннелях. 2008 г.



Рис. 8.41. Герметичные двери эвакуационного выхода в тоннеле ВСМ. 2008 г.

darrama) на ВСМ Мадрид—Сеговия (Испания). Тоннельное пересечение Гвадаррама включает два однопутных тоннеля протяженностью 28 км каждый, соединенных между собой сбойками. По концам тоннелей размещены вентиляционные станции, внутри тоннелей также находятся вентиляторы, которые могут включиться независимо от работы вентиляционных станций.

Если в одном из однопутных тоннелей возникнет пожар, движение по второму тон-

нелю прекратят и он будет использоваться для эвакуации людей и проезда аварийно-спасательных команд. На схеме (рис. 8.43) показано, что включением вентиляторов станций № 1 и № 2, а также вентиляторов, расположенных в тоннелях, создается повышенное давление воздуха в зоне эвакуации людей. Формируется также поток воздуха, направленный к ближайшему выходу из тоннеля в котором произошло возгорание, что предотвращает задымление зоны эвакуации людей.

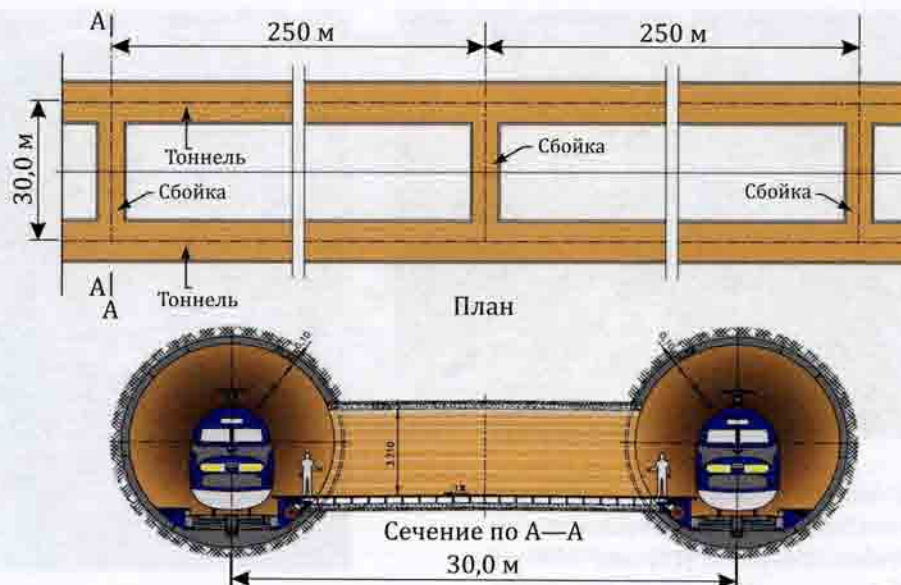


Рис. 8.42. План и поперечный разрез тоннеля Гвадаррама. Испания

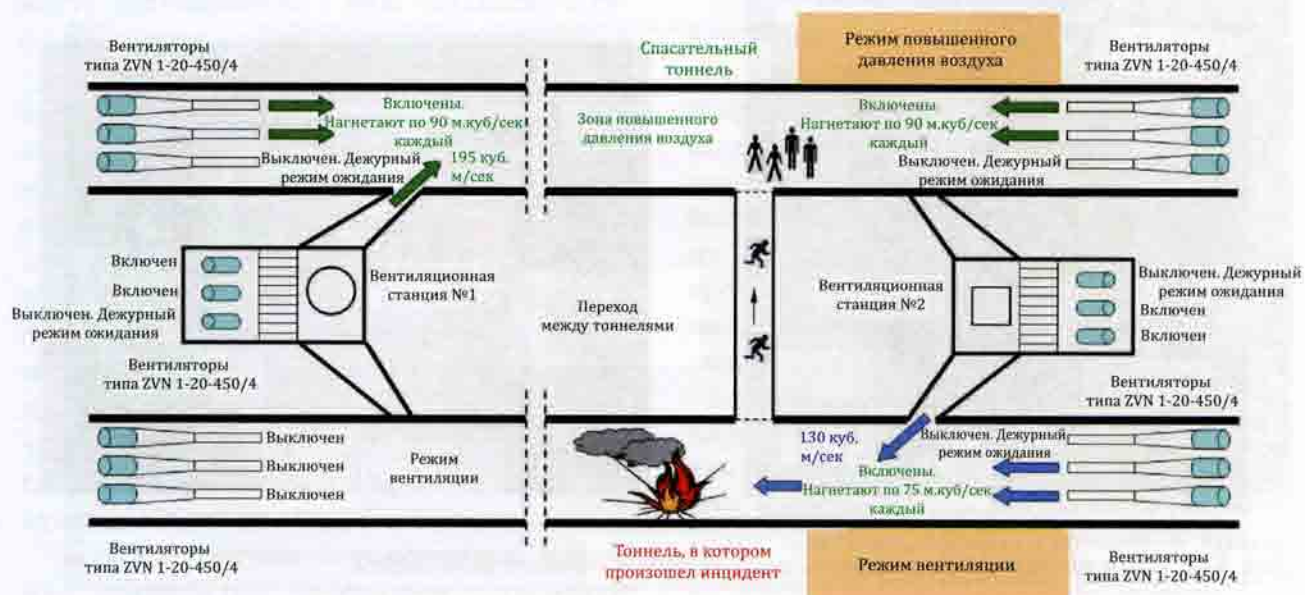


Рис. 8.43. Тоннельное пересечение Гвадаррама (два однопутных тоннеля) протяженностью 28 км. Испания. Схема организации вентиляции при пожаре в одном из тоннелей

Тоннель Пахарес (Pajares), сооруженный на линии ВСМ, связывающей Мадрид с Вальядолидом и Леоном, протяженностью 25 км (рис. 8.44) представляет собой два однопутных тоннеля, соединенные между собой через каждые 400 м сбойками. В середине тоннеля устроена аварийно-спа-

сательная железнодорожная станция. Она имеет два стрелочных съезда, позволяющих перевести движение поезда из одного тоннеля в другой. Два ствола, выходящие на поверхность, оборудованы лифтами для эвакуации пассажиров остановившегося поезда. В районе станции устроены

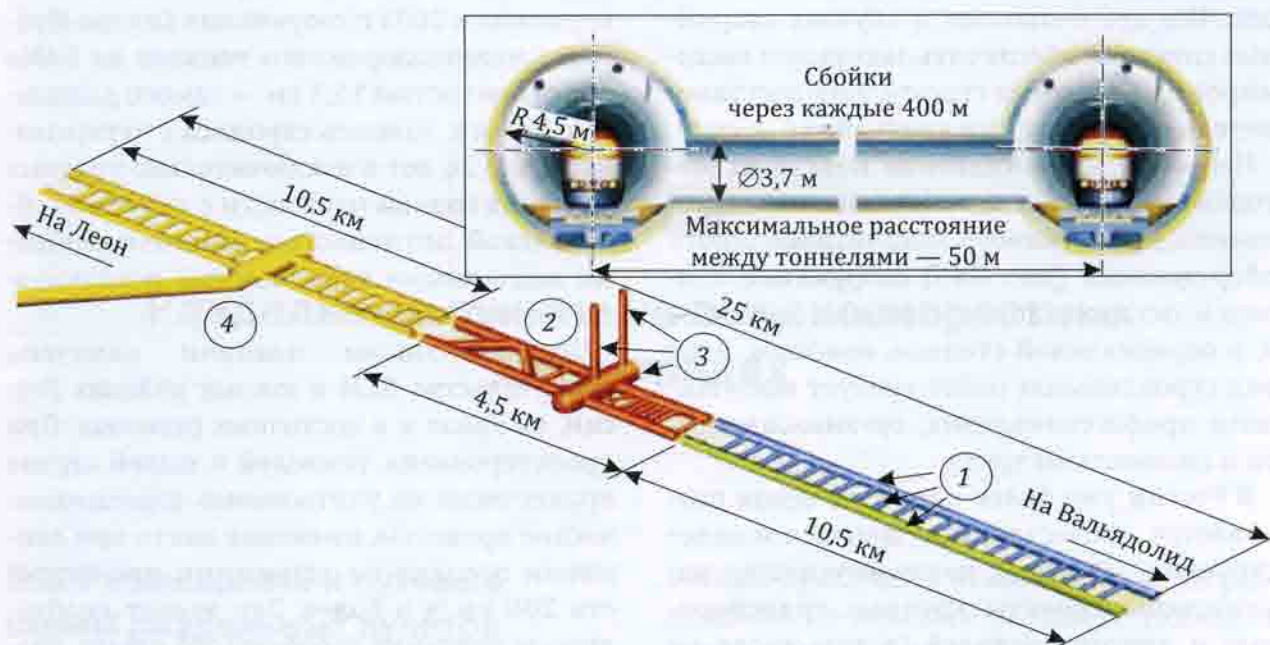


Рис. 8.44. Объемно-планировочные решения тоннеля Пахарес: 1 — однопутные тоннели с соединительными сбойками; 2 — подземная аварийно-спасательная железнодорожная станция; 3 — поперечная соединительная эвакуационная камера и вертикальные стволы с лифтами; 4 — эвакуационный тоннель с соединительной камерой



Рис. 8.45. Механизированный проходческий комплекс на строительстве тоннеля Гвадаррама. Испания

через каждые 100 м соединительные галереи. Все это позволяет в случаях аварийных ситуаций обеспечить эвакуацию пассажиров и проведение спасательно-восстановительных операций в кратчайшее время.

Несмотря на применение новейших методов строительства тоннелей с использованием эффективного механизированного оборудования (рис. 8.45) сооружение тоннелей остается дорогостоящим, сложным и, в определенной степени, опасным. Этот вид строительных работ требует высочайшего профессионализма, организованности и дисциплины труда.

В России уже более полутора веков развивается отечественная школа тоннелестроения, усилиями которой успешно реализованы проекты крупных транспортных и других тоннелей (в том числе на многочисленных гидротехнических сооружениях), осуществлено строительство метрополитенов, других подземных объектов различного назначения. Из достижений пос-

ледних десятилетий следует отметить завершение в 2003 г. сооружения Северо-Муйского железнодорожного тоннеля на БАМе протяженностью 15,3 км — самого длинного в России. Тоннель строился с перерывами около 26 лет в исключительно трудных условиях горной местности с высокой сейсмической активностью, многочисленными подземными термальными источниками минеральных вод.

Перспективными планами намечено строительство ВСМ в южных районах России, на Урале и в восточных регионах. При проектировании тоннелей в нашей стране практически не учитывались аэродинамические процессы, имеющие место при движении поездов по тоннелями при скорости 200 км/ч и более. Это делает необходимым изучение зарубежного опыта проектирования и сооружения тоннельных пересечений для ВСМ и развития отечественной научной и инженерной базы в данной области.



В настоящее время в России ведутся работы по созданию высокоскоростного железнодорожного транспорта. Одним из основных направлений является строительство высокоскоростных железнодорожных линий. В настоящее время в России ведутся работы по созданию высокоскоростного железнодорожного транспорта. Одним из основных направлений является строительство высокоскоростных железнодорожных линий.

Глава 9

Раздельные пункты на высокоскоростных магистралях

9.1. Размещение и путевые схемы раздельных пунктов на ВСМ

Раздельные пункты — станции, обгонные пункты, диспетчерские посты в значительной мере определяют уровень обеспечения жизнедеятельности скоростных и высокоскоростных железных дорог. Размещение, схемы и техническое оснащение раздельных пунктов являются важнейшими вопросами проектирования новых ВСМ и реконструируемых существующих линий.

Говоря о японском опыте, следует отметить, что больший интерес представляет первая в мире ВСМ «Токайдо» (Токио — Осака), на которой накоплен уже почти полувековой опыт эксплуатации. На этой магистрали первоначально было 12 станций, которые размещены в основном рядом со станциями узкоколейных линий существовавшей железнодорожной сети. Такое решение создало благоприятные условия для пересадки пассажиров обычных поездов в экспрессы линии Синкансэн и позволило расширить зону обслуживания населения высокоскоростными поездами.

Все станции построены по поперечной схеме с минимально необходимым путевым развитием: на трех станциях, кроме главных, уложено по три приемо-отправочных пути, на семи станциях — по два, один станочный пункт не имеет приемо-отпра-

вочных путей из-за невозможности их размещения по местным условиям. Полезная длина перронных путей равна 500 м.

Линия начинается на станции Токио-Центральная, которая была реконструирована. Вначале построено было пять путей, впоследствии — еще пять приемо-отправочных путей, затем устроены подземные переходы и пассажирские помещения. На большинстве новых станций ВСМ между главными путями уложено лишь по два диспетчерских съезда. На проходных станциях нет отдельно расположенных пассажирских зданий: билетные кассы, контора начальника станции и другие помещения размещены под путями и платформами.

При проектировании и строительстве в Японии второй ВСМ «Санъё» (Осака — Окаяма — Хаката), являющейся продолжением первой линии «Токайдо», в схемы раздельных пунктов были внесены некоторые коррективы. На линии «Санъё Синкансэн» (рис. 9.1) было построено 15 станций. При этом на станциях, на которых предусматривалась остановка всех поездов, сооружены островные пассажирские платформы, расположенные между главными и приемо-отправочными путями. На остальных станциях, где часть поездов не имеет остановки, пассажирские платформы размещены с внешней стороны приемо-отправочного пути в каждом направлении или между двумя приемо-отправочными путями станции. В обоих случаях безопасность пассажиров,

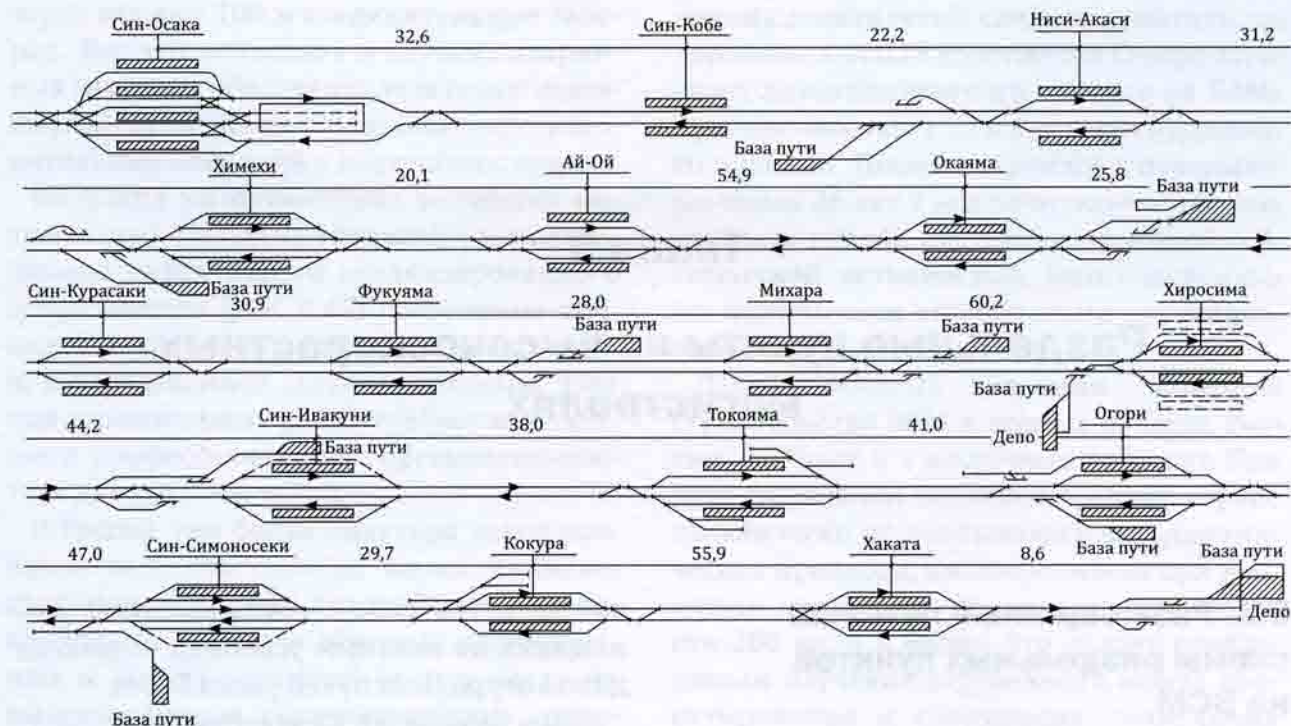


Рис. 9.1. Схема ВСМ «Санъё» Син-Осака — Хаката. Япония

находящихся на платформах при проходе поездов без остановки, обеспечена тем, что они отделены от главного пути одним приемоотправочным путем.

Следует отметить особенность участка Осака — Окаяма, где на каждой станции, кроме остановочного пункта Син-Кобэ, между главными путями уложено по четыре диспетчерских съезда вместо двух. Это позволяет организовать на линии движение рабочих поездов и путевых машин по неправильному пути в ночное время в период выполнения работ текущего содержания стационарных устройств линии.

Расстояние между станциями принято в размерах от 20 до 60 км. На станциях Окаяма и Хиросима на специальных площадках размещены парки ежедневного осмотра подвижного состава, а на станции Хаката — база выполнения плановых ремонтов вагонов. Парки для осмотра подвижного состава и базы для текущего содержания пути на станциях размещают на общей площадке, часто на существенном удалении от станции.

Схема отдельных пунктов магистрали Токио — Осака — Хаката без учета головной

станции Токио-Центральный и устройств для ремонта пути, контактной сети и подвижного состава включает следующие показатели:

- число отдельных пунктов — 27;
- среднее расстояние между станциями — 41 км;
- полезная длина приемо-отправочных путей — 500 м;
- строительная длина всех приемо-отправочных путей — 35 км;
- длина станционных путей, приходящаяся на 1 км длины линии, — 23 км;
- число стрелочных переводов, приходящихся на 1 км линии, — 23 комплекта;
- площадь пассажирских платформ, приходящихся на одну станцию, — 5,3 тыс. м².

Технические решения и показатели по отдельным пунктам северных линий Синкансэн («Тохоку» и «Дзёэцу») аналогичны рассмотренным для линии Токио — Хаката. Многие решения стали типовыми, особенно это касается расположения пассажирских платформ, переходов, габаритных расстояний. Платформы каждого типа и их расположение относительно главных

Характеристика и количество пассажирских платформ на станциях первых трех линий сети Синкансэн

Тип и расположение пассажирских платформ	Ширина платформ, м	Число платформ на станциях линии				
		Иокогама — Хаката	Омия — Мориока	Кумагая — Ниигата	Всего	
					Кол-во	%
Боковые рядом с главным путем	8	4	—	—	4	4,2
Островные между главным и приемо-отправочным путями	10	16	6	3	25	26,3
Боковая рядом с приемо-отправочным путем	7—7,5	22	13	6	41	43,2
Островная между приемо-отправочными путями	9,5	10	8	7	25	26,3
Всего	—	52	27	16	95	100

и приемо-отправочных путей на основных высокоскоростных линиях Японии приведены в табл. 9.1.

Изучение опыта проектирования и строительства ВСМ в Японии позволяет сделать следующие выводы:

- строительство станций назначается только из условия максимального охвата населения перевозками в высокоскоростных поездах;

- размещение отдельных пунктов ВСМ и районов городов определяется положением станций действующих железных дорог шириной колеи 1067 мм с целью создания наибольших удобств при пересадке пассажиров с одной линии на другую;

- путевое развитие станции предусматривается в небольших размерах (в основном, кроме главных, два приемо-отправочных пути, на некоторых станциях — три или четыре пути для организации пересадки из неисправного в исправный поезд); проявляется тенденция увеличения числа станций с тремя и четырьмя приемо-отправочными путями;

- укладка стрелочных переводов на главных путях ведется с учетом организации движения поездов на линии и прохода путевых машин во время «окна» при текущем содержании стационарных устройств ВСМ;

- пассажирские платформы на станциях с безостановочным пропуском поездов

размещаются через один путь от главного с внешней стороны станции или между приемо-отправочными путями одного направления; на отдельных станциях, где такое расположение невозможно из-за местных условий, платформы строятся увеличенной ширины;

- на главных путях укладываются специальные стрелочные переводы с подвижными элементами крестовины для обеспечения пропуска поездов по главным путям с высокой скоростью; переводы пологих марок (менее 1/16) и очень пологих (более 1/30) до настоящего времени на японских ВСМ не применялись;

- служебно-технические здания (залы ожидания, билетные кассы, почтовые и багажные помещения) на всех станциях размещаются, как правило, под путями и платформами станций ВСМ;

- для текущего содержания стационарных устройств высокоскоростной линии предусматриваются специальные линейные базы с соответствующим путевым развитием и средствами механизации, предназначенными для обслуживания ВСМ; прикрытие соединительных путей таких баз выполняется к ближайшим станциям с необходимыми путепроводными развязками в местах пересечения с главными путями или на перегоне с использованием специального (временно надвигаемого на путь)

устройства для ввода путевых машин и рабочих поездов на главный путь и выхода обратно;

— проходные (промежуточные) станции, как правило, не претерпевают изменений в путевом развитии по мере возрастания размеров движения;

— головные станции, а также зонные с большим оборотом составов развиваются поэтапно;

— базы подвижного состава подвергаются более частому увеличению путевого развития; строятся по схемам с продольным расположением основных парков и с тупиковым депо на 3—8 путей;

— решения, принятые по схемам станций первых линий Синкансэн, применяются без существенных изменений на последующих линиях.

Принятые технические решения по раздельным пунктам на западно-европейских ВСМ существенно отличаются от японских. Это обусловлено следующими причинами. Во-первых, французские, германские и итальянские высокоскоростные магистра-

ли имеют одинаковую с обычными железными дорогами ширину колеи, что позволяет использовать эти магистрали как основную часть общей сети страны и даже континента в целом; во-вторых, европейские демографические, географические, климатические и экологические условия отличаются от японских.

Наибольший интерес представляют раздельные пункты французских ВСМ. На рис. 9.2 приведена схема участка ВСМ Париж — Лион. На схеме сплошными линиями показано путевое развитие вновь построенной части высокоскоростной магистрали, включая соединения с пересекаемыми линиями, а штриховыми линиями — существующие железные дороги традиционной конструкции с движением пассажирских поездов по некоторым из них со скоростью до 200 км/ч. На линии построены лишь две станции с приемо-отправочными путями, по одному с каждой стороны главных путей. Еще четыре обгонных пункта имеют только по одному приемо-отправочному пути, в продолжение которого устроен тупи-

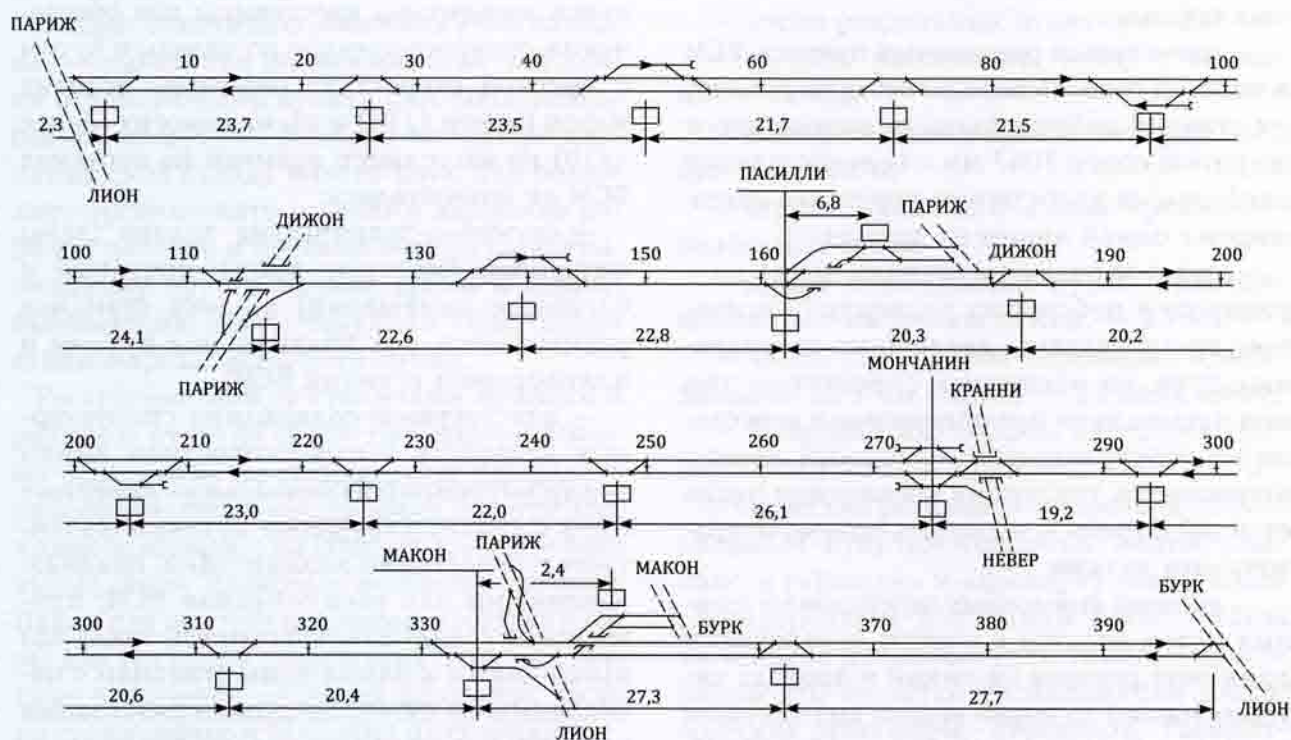


Рис. 9.2. Схема ВСМ Париж — Лион. Франция

ковый путь, рассчитанный на длину поезда. Эти пункты используются только в случае возникновения неисправностей в поезде в пути следования. Между главными путями на обгонных пунктах уложено по два диспетчерских съезда.

Кроме того, через каждые 19—27 км размещаются диспетчерские пункты регулирования движения поездов, на которых между главными путями уложено по два съезда. На этих пунктах движение экспрессов при необходимости переключается с одного главного пути на другой, а также регулируется движение ремонтных машин во время ночного «окна».

Для уменьшения потерь времени пассажиров диспетчерские съезды и примыкания соединительных путей укладываются с применением стрелочных переводов с маркой крестовины 1/65, которые допускают движение со скоростью на отклонение до 200 км/ч.

На местах пересечения ВСМ с существующими линиями уложены соединительные пути, позволяющие экспрессам выходить по ним на сеть обычных железных дорог. На головных участках магистрали от Парижа до Лиона на расстоянии в общей сложности 36 км поезда TGV следуют по путям старой постройки. Это дает возможность использовать имеющиеся вокзальные комплексы и уменьшить капитальные затраты. Из других стран, эксплуатирующих и строящих подобные магистрали, следует выделить Германию, Италию и Испанию.

В Германии ВСМ строятся для смешанного движения; на них, помимо высокоскоростных пассажирских, могут обращаться и грузовые экспрессы. Это потребовало сооружения примерно через каждые 25 км обгонных пунктов. Помимо обгонных пунктов, в среднем через 7 км между главными путями укладываются по два диспетчерских съезда, а в местах пересечения с обычными линиями сооружаются соединительные пути для выхода пассажирских и грузовых экспрессов с одной линии на другую.

Многолетнее эффективное функционирование французских и японских ВСМ, разработка на этой основе проектов новых ВСМ в этих странах без существенных изменений в принципах размещения и схемах раздельных пунктов свидетельствуют о том, что принятые для первых ВСМ инженерные решения отвечают специфическим условиям этих стран.

Переходя к вопросу о размещении и схемах раздельных пунктов будущих высокоскоростных магистралей в нашей стране, следует определить пути его решения применительно к российским условиям. В отечественных проектно-изыскательских и научных разработках 1987—1998 гг. принята за основу французская концепция. Так, в проектных разработках Мосгипротранса 1987 г. ВСМ Москва — Юг протрассирована без захода в крупные города и без устройства новых пассажирских станций вблизи них. Для обслуживания населения городов, расположенных в зоне высокоскоростной магистрали, предусматриваются заходы некоторых поездов по существующим линиям с пониженными скоростями, для чего в местах пересечения ВСМ с этими линиями или близкого их расположения укладываются соединительные пути с путепроводными развязками. Это позволяет существенно снижать расходы по собственно ВСМ, но требует значительной реконструкции тех участков существующих линий, по которым экспрессы должны следовать по высокоскоростной линии на действующие пассажирские станции и обратно. Такое решение может быть эффективным только в том случае, если заводы наладят выпуск сверхпологих стрелочных переводов, например, марок 1/46 — 1/65¹.

Несколько отличное от ВСМ Москва — Юг положение занимает проектируемая ВСМ Санкт-Петербург — Москва, что обусловлено в основном объективными обстоятельствами. Первое из них заключается в

¹ Здесь и далее к сверхпологим отнесены переводы, обеспечивающие скорость на ответвление 160 км/ч и более.

уникальности линии по характеру и размерам пассажиропотока. Линия соединит два мегаполиса страны, между которыми, кроме Твери, нет пока пассажирообразующих пунктов. Это оправдывает движение большей части поездов от одного города до другого без остановок. Целесообразность станций с пассажирскими операциями есть, кроме Твери, в районе Валдая, в Москве и Санкт-Петербурге.

На остальном протяжении линии могут размещаться только те отдельные пункты, которые обеспечивают регулирование движения поездов и жизнедеятельность магистрали в целом.

Таким образом, при проектировании ВСМ Санкт-Петербург — Москва целесообразно применение комбинированной концепции с использованием как французского, так и японского вариантов. Анализ других перспективных направлений высокоскоростных линий, в том числе и ВСМ Москва — Кавказ, показывает, что для российских условий такая комбинированная концепция является объективно необходимой и целесообразной с технико-экономической и социальной стороны. С учетом этого разрабатывались основные требования к путевым схемам и размещению отдельных пунктов на ВСМ России.

Главные требования к отдельным пунктам ВСМ обусловлены основными целями функционирования магистрали. Первой целью является обеспечение высокого уровня обслуживания пассажиров как в пунктах отправления и прибытия, так и во время поездки при безусловном обеспечении безопасности и точном соблюдении времени прибытия на конечный пункт. Достижение этой главной цели возможно лишь при эффективной схеме обеспечения жизнедеятельности магистрали — вторая цель, что достигается:

- оптимальным размещением баз технического обслуживания стационарных устройств на линии в пределах отдельных пунктов;

- обеспечением быстрого вывода из режима движения неисправных поездов в

пути следования и благоприятных условий для пересадки пассажиров из неисправного поезда в исправный;

- обеспечением взаимозаменяемости основных путей при движении поездов и ремонтных машин при нештатных ситуациях;

- созданием благоприятных условий для кооперирования однородных устройств и территорий баз технического обслуживания.

9.2. Классификация и схемы отдельных пунктов ВСМ

С учетом изложенных требований и принятой концепции будущих ВСМ России предлагается следующая классификация отдельных пунктов:

- головные пассажирские станции;
- линейные (промежуточные) пассажирские станции;
- линейные (проходные) отдельные пункты с приемо-отправочными путями без пассажирских операций;
- диспетчерские посты.

Ниже рассмотрены возможные путевые схемы названных типов отдельных пунктов.

Головные пассажирские станции. Отечественной наукой основательно решены вопросы расчета и норм проектирования крупных пассажирских станций магистральных железных дорог. Фактор скорости движения не внес существенных дополнительных требований к головным станциям ВСМ, поэтому их можно проектировать с применением современных систем информационного обеспечения и дизайна по типовым схемам пассажирских станций обычных железных дорог, но при условии высокого уровня сервиса обслуживания пассажиров в пределах всего пассажирского комплекса.

Линейные (промежуточные) пассажирские станции. Перечисленным ранее требованиям в максимальной степени отвечает схема, приведенная на рис. 9.3, где база

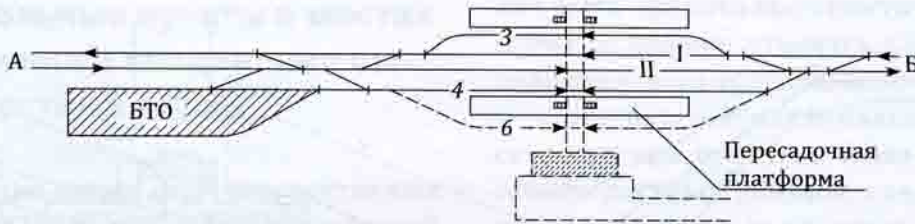


Рис. 9.3. Схема промежуточной пассажирской станции высокоскоростной магистрали с продольным расположением базы технического обслуживания постоянных устройств (БТО): I, II — главные пути; 3, 4, 6 — приемо-отправочные пути для пассажирских поездов

технического обслуживания стационарных устройств размещается последовательно пассажирским устройствам. Путь 6, обозначенный штриховой линией, устраивается при необходимости пересадки пассажиров из неисправного поезда, принимаемого на этот путь, в исправный, подаваемый на путь 4 с любого направления. На рис. 9.4 приведена схема промежуточной пассажирской станции ВСМ с дополнительными приемо-отправочными путями 5, 6 с возможностью обращения скоростных контейнерных или рефрижераторных поездов. Путь 8 используется для приема контейнерных поездов на время погрузки и выгрузки части контейнеров.

Зонные пассажирские станции — специфический вид линейных пассажирских станций, на которых имеют оборот часть поездов, как правило, одного из направлений.

Выбор места размещения и схемы такой станции устанавливается на основе технико-экономического сопоставления принципиально различающихся вариантов. На рис. 9.5 приведена схема зонной пассажирской станции, расположенной непосредственно на трассе ВСМ. На трассе четыре приемо-отправочных пути для пассажирских поездов (10, 11, 12 и 13), в том числе отстойные, дополнительно предусмотрен приемо-отправочный путь 7 для контейнерных поездов.

Линейные (проходные) раздельные пункты без пассажирских операций (рис. 9.6). На ВСМ при редком (через 100 км и более) расположении проходных пассажирских станций необходимо устраивать через 40—65 км раздельные пункты с двумя приемо-отправочными путями для приема на один из них (4) поезда, получившего неисправность в пути следования, а на другой (3)

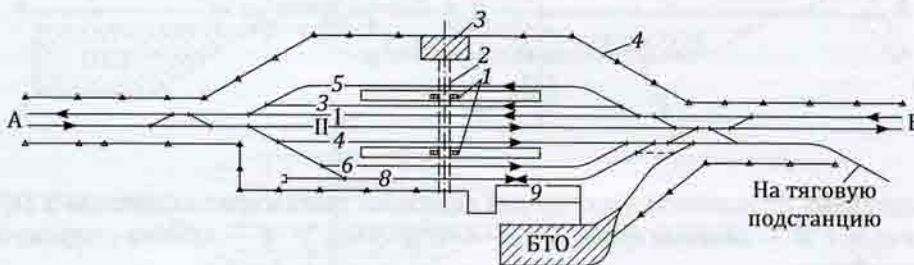


Рис. 9.4. Схема промежуточной станции ВСМ с контейнерным пунктом и дополнительными приемо-отправочными путями: 1 — высокие пассажирские платформы; 2 — пешеходный тоннель; 3 — вокзал; 4 — ограждение линии; БТО — база технического обслуживания постоянных устройств; I, II — главные пути; 3—6 — приемо-отправочные пути для пассажирских поездов; 8 — путь для погрузки и выгрузки контейнеров из скоростных контейнерных поездов; 9 — контейнерная площадка

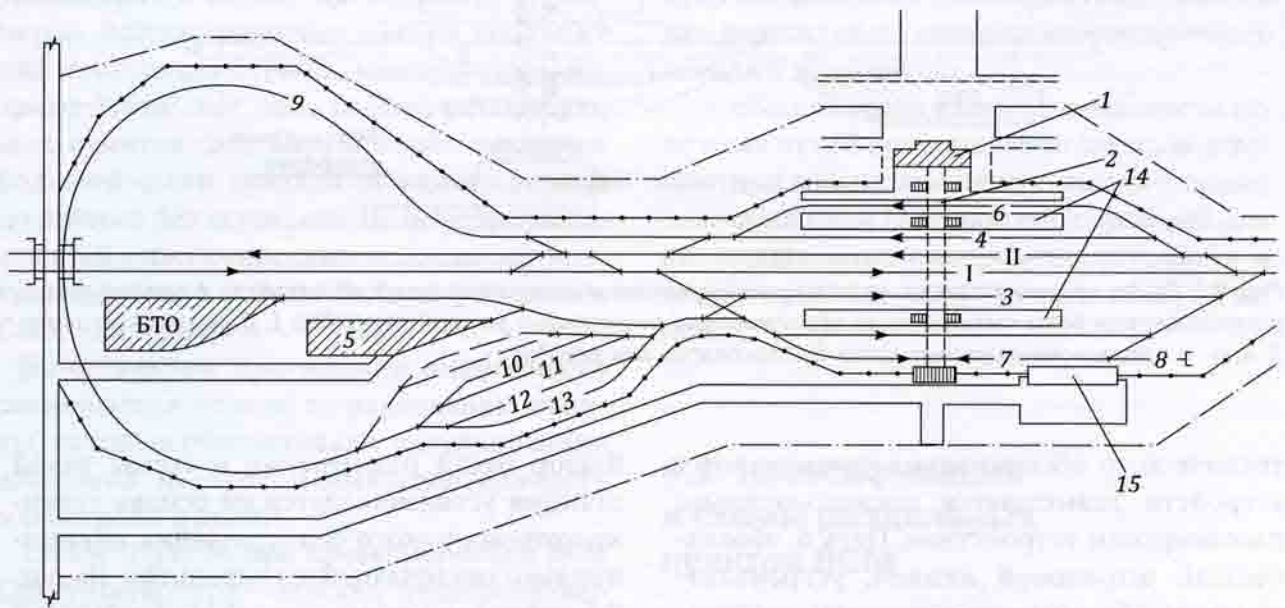


Рис. 9.5. Схема зонной пассажирской станции с петлевым подходом для оборачивающихся поездов: I, II — главные пути; 1 — вокзал; 2 — пешеходный тоннель; 5 — тяговая подстанция; 3—6 — приемо-отправочные пути для пассажирских поездов; 7 — приемо-отправочный путь для контейнерных поездов; 8 — предохранительный тупик; 9 — петлевой участок для оборота зонных поездов; 10—13 — отстойные пути для зонных поездов; 14 — пассажирские платформы; 15 — контейнерная площадка; БТО — база технического обслуживания постоянных устройств

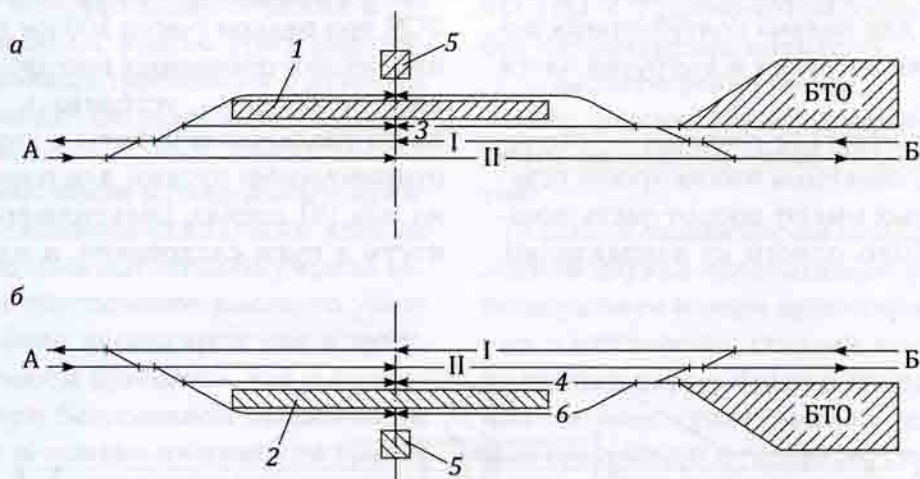


Рис. 9.6. Схемы линейных (проходных) пунктов для пересадки пассажиров из нечетных (а) и четных (б) неисправных поездов: I, II — главные пути; 1, 2 — платформы; 3—6 — приемо-отправочные пути; 5 — станционное здание

дополнительного порожнего поезда для пересадки в него пассажиров из неисправного поезда. Между путями устраивается

пассажирская пересадочная платформа 1 на длину поезда шириной не менее 6 м.

9.3. Раздельные пункты в местах разветвления и соединения высокоскоростных линий

Рассмотрение схемы сети перспективных для России высокоскоростных магистралей указывает на необходимость разветвления линий в ряде пунктов. Так, на направлении Санкт-Петербург — Юг возникнет несколько таких разветвлений: на северо-западном подходе к Москве; южнее Москвы, в месте выхода ВСМ из Санкт-Петербурга на ВСМ Москва — Юг; южнее Ростова-на-Дону отклонение в район Минеральных Вод. Кроме того, при концепции ВСМ Москва — Юг каждый пассажирообразующий город будет иметь по два разветвления маршрутов следования экспрессов.

Отклонения ВСМ могут осуществляться как на постах без путевого развития, так и на раздельных пунктах с путевым развитием. При необходимости на постах без путевого развития укладываются диспетчерские съезды между главными путями основной линии.

Однако необходимо стремиться к тому, чтобы разветвления ВСМ размещались на раздельных пунктах с путевым развитием. За основу такого раздельного пункта мо-

жет быть принята промежуточная станция. Схема ее должна отвечать следующим дополнительным требованиям:

- обеспечение максимально возможной скорости при пропуске через станцию высокоскоростных поездов, следующих с основной магистрали на отклоняемую;

- обеспечение приема поездов с отклоненной магистрали пути для стоянки в ожидании выхода на основную магистраль (стоянка может оказаться вынужденной даже из-за незначительных отклонений от расписания поездов);

- стрелочная зона со стороны подхода отклоняемой линии должна обеспечивать одновременный прием двух поездов (с обеих магистралей), а также одновременный сквозной пропуск поездов по основной магистрали и на ответвление.

С учетом изложенных требований в ПГУПС были разработаны схемы промежуточных узловых станций с пассажирскими операциями (см. рис. 9.7) с вариантами: без контейнерной площадки (а) и при ее наличии (б). Как видно из приведенных схем раздельных пунктов, их применение потребует разработки и изготовления пологих стрелочных переводов, которые при движении на боковое отклонение обеспечивают высокую скорость.

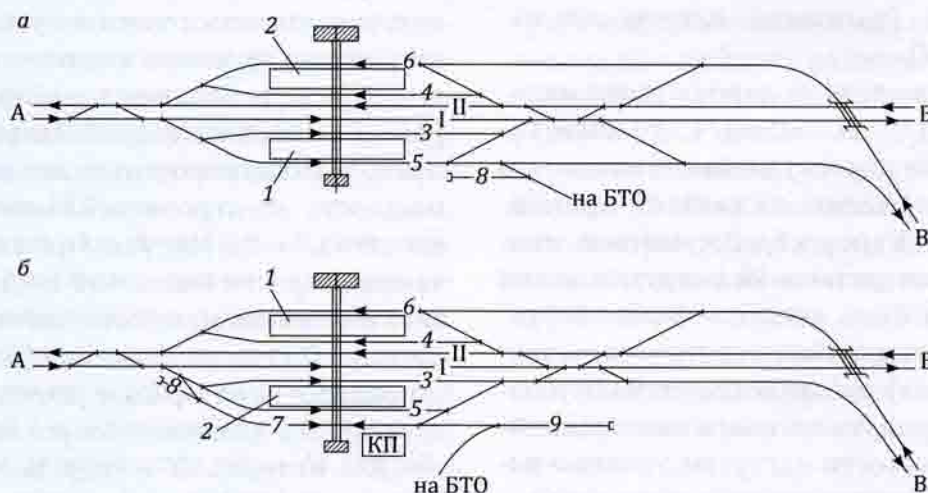


Рис. 9.7. Схемы узловых промежуточных пассажирских станций: а — без контейнерной площадки; б — с контейнерной площадкой; 1, 2 — платформы; I, II — главные пути; 3—6 — приемо-отправочные пути для пассажирских поездов; 7 — приемо-отправочный путь для контейнерных поездов; 8 — предохранительный тупик; 9 — вытяжной тупик; КП — контейнерная площадка

Глава 10

Системы электрификации и устройства электроснабжения высокоскоростных железных дорог

10.1. Системы электрической тяги и устройства электроснабжения

Преодоление силы сопротивления движению поезда, зависящей от трения качения, аэродинамических нагрузок, уклона пути, достигается тяговыми средствами. Движущие оси подвижного состава сопряжены с электрическими двигателями механической передачей вращающего момента. Тяговые двигатели получают питание от генераторов электрических станций посредством устройств внешнего и внутреннего (тягового) электроснабжения (рис. 10.1).

На линиях железных дорог с максимальной скоростью до 160 км/ч (традиционные железные дороги) удельная мощность электропотребления составляет примерно 300—500 кВт/км в одном направлении. Характер электротяговой нагрузки таких линий может быть описан случайной функцией, подчиняющейся гипотезе нормального (Гауссова) распределения. Выбор отдельных устройств тягового электроснабжения по мощности нагрузки с учетом допустимого нагревания токоведущих элементов осуществляется, исходя из максимальных значений токовых нагрузок в течение определенного временного интервала.

Высокоскоростные железные дороги с максимальной скоростью 250 км/ч и более, повышенной пропускной способностью с расчетными интервалами попутного следования 3—15 мин и мощностью электропотребления одного поезда 10—18 МВт имеют иной характер электротяговой нагрузки. Для таких линий характерна импульсная нагрузка, как для устройств электротяговой сети, так и для преобразовательного электрооборудования тяговых подстанций. В системе электроснабжения возрастают пиковые нагрузки на тяговые подстанции, увеличиваются потери напряжения и энергии в устройствах тягового электроснабжения, усложняется токоъем; увеличивается нагревание проводов контактной сети, повышаются требования к избирательности релейных защит в аварийных режимах.

Для высокоскоростных линий удельная мощность электропотребления может достигать 1,0—2,5 МВт/км. При любом увеличении скорости более 160 км/ч потребная электротяговая мощность значительно возрастает. Она зависит от многих факторов, основными из которых являются масса поезда, скорость движения, сопротивление движению; интервалы между поездами; частота троганий и разгонов; применение рекуперативного торможения; план и профиль пути, аэродинамическое сопротивление; характеристики сети тягового электроснабжения.

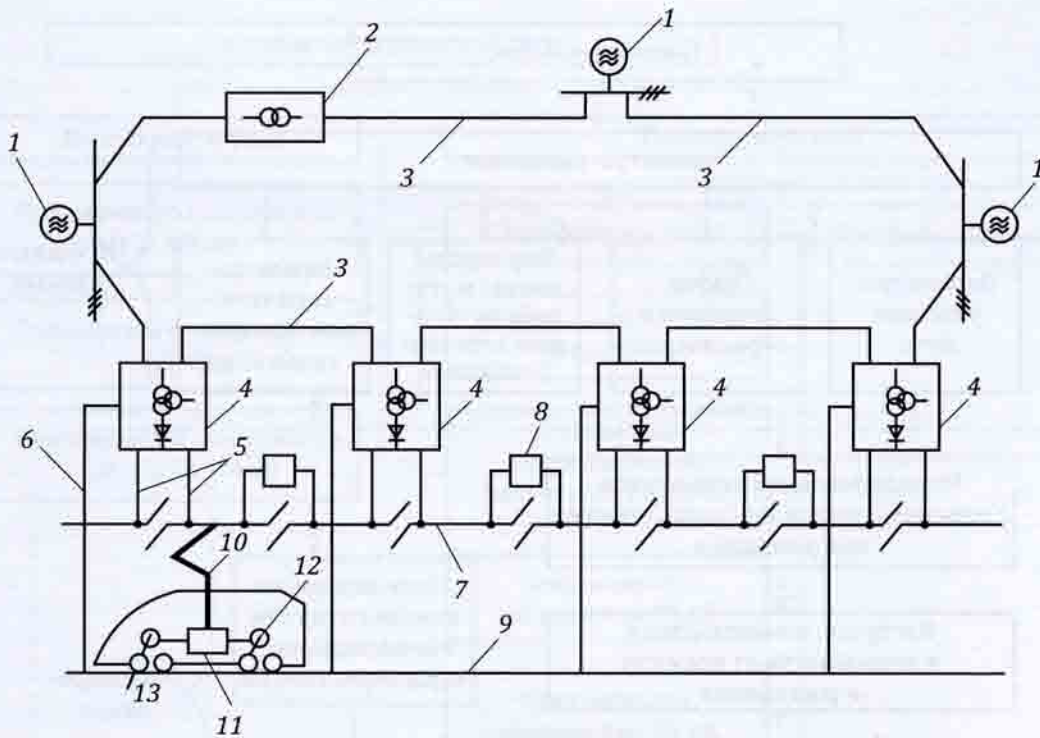


Рис. 10.1. Схематическое изображение комплекса устройств электрической железной дороги. Система внешнего электроснабжения: 1 — электростанции; 2 — крупные районные трансформаторные подстанции; 3 — высоковольтные линии электропередачи напряжением 110, 220 кВ и выше. Система внутреннего (тягового) электроснабжения: 4 — тяговые преобразовательные подстанции; 5 — питающие линии; 6 — отсасывающие линии; 7 — контактная сеть; 8 — линейные устройства секционирования; 9 — рельсовая обратная сеть. Электрический подвижной состав (ЭПС): 10 — токоприемники; 11 — пуско-регулирующая аппаратура и преобразователи электрической энергии; 12 — тяговые электрические двигатели; 13 — механическая передача вращающего момента двигателей к колесным парам

Достоверный расчет системы электроснабжения является сложной задачей. Наиболее точные результаты при проектировании высокоскоростных линий получают методом математического моделирования (рис. 10.2).

В зависимости от рода тока в электротяговой сети различают системы электрической тяги постоянного и переменного тока. Электрические железные дороги классифицируют также в зависимости от уровня напряжения в контактной сети, от частоты и числа фаз переменного тока. На рис. 10.3 приведена общая классификация систем электрической тяги.

Система электрической тяги трехфазного тока применялась в Италии в начале XX столетия. Из-за сложности контактной се-

ти и токоприемников такая система не получила дальнейшего развития.

Применение электрической тяги однофазного тока началось с переменного тока пониженной частоты $16\frac{2}{3}$ Гц напряжением 15 кВ на железных дорогах Германии, Австрии, Швейцарии, Швеции. Система электрической тяги однофазного тока пониженной частоты позволила обеспечить прямое питание коллекторных тяговых двигателей однофазного тока переменным током без преобразования в постоянный ток.

Современный электроподвижной состав оснащается бесколлекторным тяговым приводом трехфазного тока с однофазно-трехфазными преобразователями частоты с промежуточным контуром постоянного то-



Рис. 10.2. Алгоритм расчета электротягового комплекса методом математического моделирования

ка. Благодаря этому нет необходимости применения системы тягового электроснабжения переменного тока пониженной частоты. Однако действующие электрифицированные линии не подлежат срочному переводу на другую систему тока вследствие значительных затрат на реконструкцию системы тягового электроснабжения. Поэтому система электрической тяги однофазного тока пониженной частоты $16\frac{2}{3}$ Гц

продолжает применяться на ряде современных железных дорог мира.

В Советском Союзе, во Франции, Италии и других странах до шестидесятых годов XX столетия использовалась система электрической тяги постоянного тока, вначале пониженного напряжения, а затем напряжением 3 кВ. В настоящее время в России электрифицировано на постоянном токе 3 кВ более 18 тыс. километров, в том числе

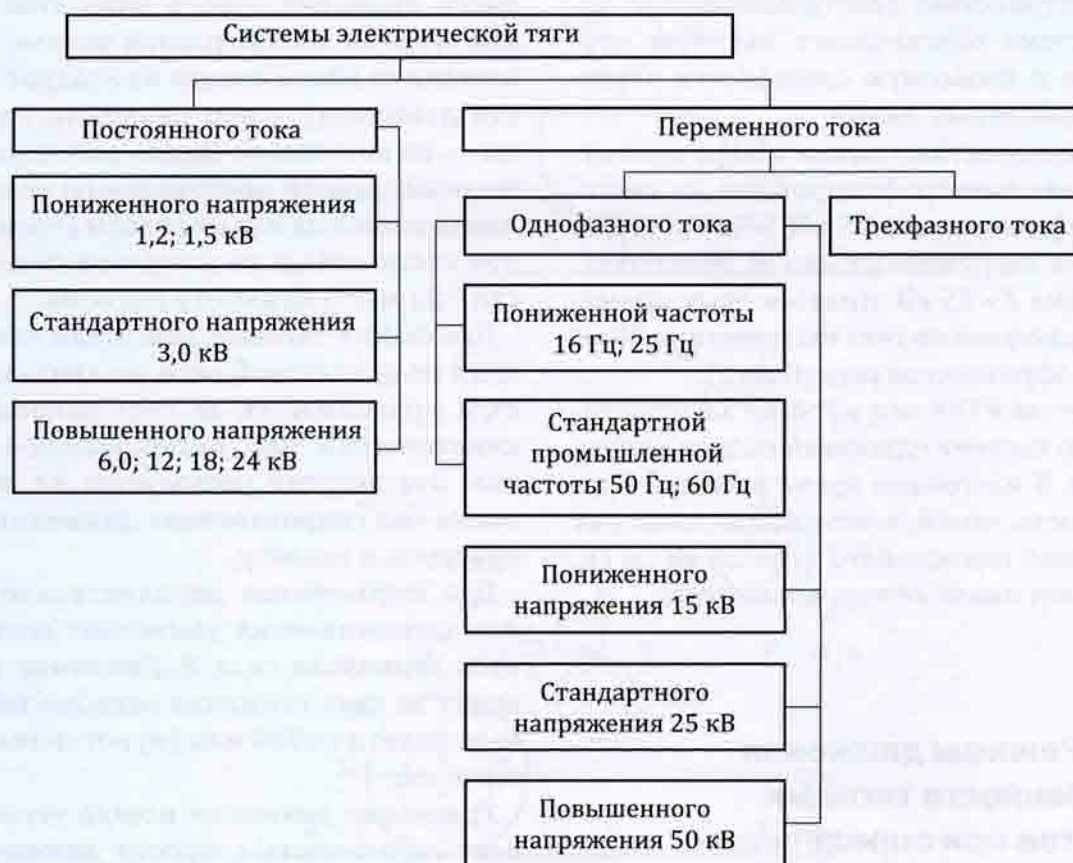


Рис. 10.3. Общая классификация систем электрической тяги

высокоскоростная магистраль Санкт-Петербург — Москва. Масштабная электрификация железных дорог на постоянном токе 3 кВ в России прекращена из-за главного недостатка этой системы, обусловленного относительно низким уровнем напряжения в электротяговой сети и высокими нагрузками контактной сети по току. Некоторые участки постоянного тока напряжением 3 кВ на грузонапряженных линиях переводятся на переменный ток. Например, участки Зима — Иркутск — Слюдянка на Транссибирской магистрали, Лоухи — Мурманск Октябрьской железной дороги. Система электрической тяги постоянного тока, несмотря на отмеченные недостатки представляет перспективную систему при условии перевода ее на повышенное напряжение до 18—24 кВ.

Более широкое развитие в настоящее время находит система электрической тя-

ги однофазного тока стандартной частоты 50(60)¹ Гц и стандартного напряжения 25 кВ. Главное преимущество системы однофазного тока 25 кВ, 50 (60) Гц заключается в повышенном напряжении и, при той же мощности электропотребления, уменьшенных токовых нагрузках контактной сети. Это обуславливает снижение сечения проводов контактных сетей, возможность увеличения расстояния между тяговыми подстанциями, уменьшение потерь энер-

¹ Мировым стандартом генерации, передачи и преобразования электроэнергии является использование переменного трехфазного тока. В России и европейских странах промышленная частота тока равна 50 Гц, в США и ряде других стран — 60 Гц. В Японии исторически сложилось так, что на части территории: регион Токио и к северо-востоку от него, используется переменный ток частотой 50 Гц; к юго-западу от Токио — 60 Гц. Частота 16²/₃ Гц до сих пор используется в тяговом электроснабжении некоторых европейских железнодорожных сетей (Австрия, Германия, Норвегия, Швеция и Швейцария).

гии в устройствах электроснабжения. Такая система обеспечивает высокую пропускную и провозную способности электрифицированных линий.

Высокоскоростные линии в мире преимущественно электрифицированы по системе однофазного тока 25 кВ, 50(60) Гц. Для наиболее нагруженных линий применяется система 2×25 кВ. Имеется опыт применения однофазного тока напряжением 50 кВ (Южно-Африканская республика).

В Советском Союзе и в России электрификация по системе однофазного тока начата в 1956 г. В настоящее время в России протяженность линий, электрифицированных по системе однофазного тока 25 кВ 50 Гц, составляет около 24 тыс. километров.

10.2. Режимы движения и особенности тяговых расчетов при определении нагрузок на устройства электроснабжения высокоскоростных линий

Для упрощения рассмотрения условий движения поезда при тяговых расчетах массу поезда принимают сосредоточенной в центре его тяжести, а из всех возможных перемещений отдельных вагонов, их элементов, экипажа и тяговых двигателей локомотива рассматривают только поступательное движение поезда по железнодорожному пути и вращательное движение якорей тяговых двигателей, элементов механической передачи и колесных пар.

Выделяют три режима движения поезда: тяга, выбег и торможение. В режиме тяги электродвигатели преобразуют электрическую энергию в механическую и передают ее на колесную пару, вращающий момент M_k которой обеспечивает за счет сцепления обода колес с рельсом касательную силу тяги F (рис. 10.4). Эта энергия расходуется на преодоление работы сил сопротивления движению и на повышение ско-

рости движения (увеличение кинетической энергии поезда, равной половине произведения массы поезда на квадрат скорости движения), а при движении на подъеме — на повышение запаса потенциальной энергии, равной произведению силы давления колесных пар на рельсы (произведение массы поезда на ускорение силы тяжести $9,81 \text{ м/с}^2$) на высоту подъема.

При выбеге тяговые двигатели отключаются от контактной сети, но движение поезда продолжается за счет накопленной кинетической или потенциальной энергии. Эта энергия расходуется на преодоление сил сопротивления движению, превращаясь в теплоту.

При торможении дополнительно к силам сопротивления движению прибавляется тормозная сила B . Движение происходит за счет снижения запасенной в поезде кинетической или (и) потенциальной энергии.

Уравнение движения поезда устанавливает зависимость скорости движения от сил, действующих на поезд. Все силы заменяют результирующей силой: при положительном ее значении — ускоряющей, а при отрицательном — замедляющей. Ускоряющая сила равна алгебраической сумме

$$F_y = F_k - W_k - B_T, \quad (10.1)$$

где F_k — суммарная касательная сила тяги от всех движущих осей поезда, Н; W_k — результирующее сопротивление движению поезда, включающее основное сопротивление W_0 и дополнительное W_d , Н; B_T — общая сила торможения, Н.

В соответствии со вторым закона Ньютона

$$F_y = ma, \quad (10.2)$$

где m — масса поезда, кг; a — ускорение поступательного движения, м/с^2 .

Масса поезда при учете только поступательного движения

$$m = (G + Q) / g, \quad (10.3)$$

где G , Q — сила тяжести соответственно локомотива и вагонов поезда, кН; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Так как в действительности колесные пары вагонов и локомотива, якоря тяговых

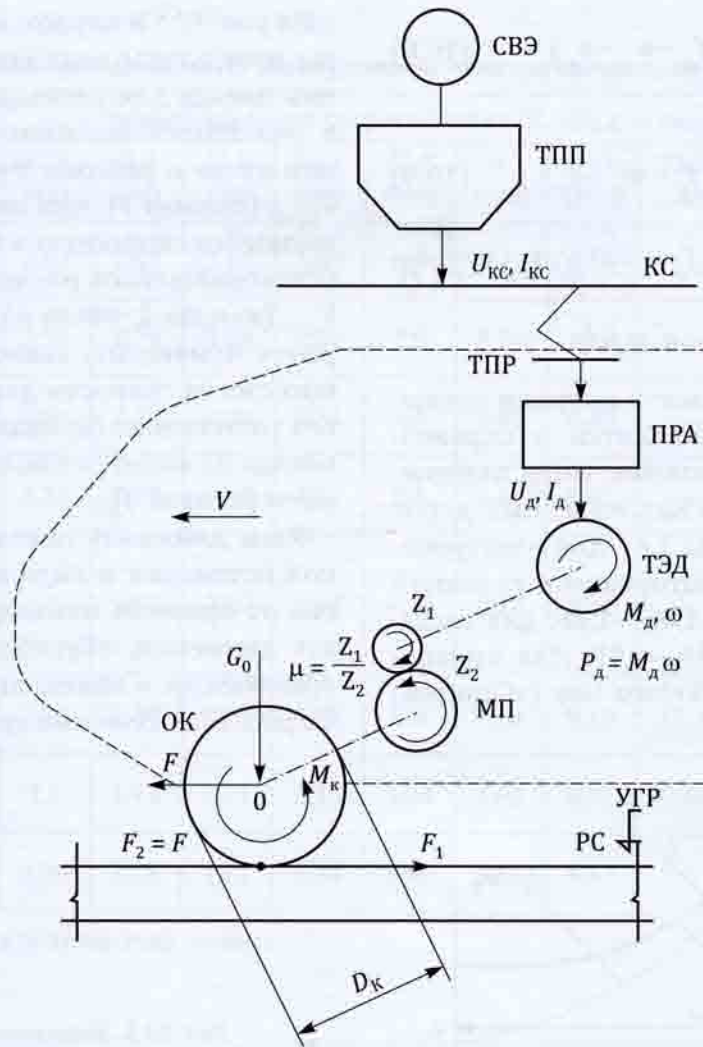


Рис. 10.4. Схема образования силы тяги на ободе колеса электроподвижного состава: ОК — обод колес; МП — механическая передача; ТЭД — тяговый электродвигатель; ПРА — пуско-регулирующая аппаратура; ТПР — токоприемник; КС — контактная сеть; РС — рельсовая сеть; ТПП — тяговая преобразовательная подстанция; СВЭ — система внешнего электроснабжения

двигателей, зубчатые колеса и другие вращающиеся элементы экипажа при движении совершают вращение с частотой, зависящей от скорости поезда, то действующая сила вызывает ускорение не только поступательного движения всего поезда, но и углового ускорения вращающихся частей. В расчетах влияние этих частей учитывают коэффициентом γ . Величину $1 + \gamma$ называют коэффициентом инерции вращающихся масс, а величину $m(1 + \gamma)$ — приведенной массой.

С учетом влияния вращающихся масс уравнение движения поезда имеет следующий вид:

$$F_y = m(1 + \gamma)a = \frac{(G + Q)}{g}(1 + \gamma)a. \quad (10.4)$$

Ускорение поступательного движения поезда определяется по выражению:

$$a = \frac{F_y}{G + Q} \cdot \frac{g}{(1 + \gamma)} = f_y \frac{g}{1 + \gamma}, \quad (10.5)$$

где удельная ускоряющая сила

$$\frac{F_y}{G + Q} = f_y. \quad (10.6)$$

В результате формула (10.1) и уравнение движения (10.4) в удобной для расчета форме представлены в виде:

$$f_y = f_k - w_k - e_T; \quad (10.7)$$

$$a = \frac{g}{1+\gamma} (f_k - w_k - \epsilon_T) \quad (10.8)$$

или

$$\frac{dV}{dt} = \frac{g}{1+\gamma} (f_k - w_k - \epsilon_T). \quad (10.9)$$

Здесь обозначены: $f_k = \frac{F_k}{G+Q}$; $w_k = \frac{W_k}{G+Q}$;
 $\epsilon_T = \frac{B_T}{G+Q}$, Н/кН; $\frac{dV}{dt} = a$, м/с².

Значения коэффициента инерции вращающихся масс $1+\gamma$ приводятся в справочной литературе. Основные типы подвижного состава российских железных дорог имеют коэффициенты $1+\gamma$ для электровазов 1,15—1,30; для моторвагонных секций или электропоездов 1,06—1,08; для пассажирских вагонов 1,04—1,05. Для высокоскоростного поезда Velaro Rus («Сапсан») $1+\gamma = 1,06$.

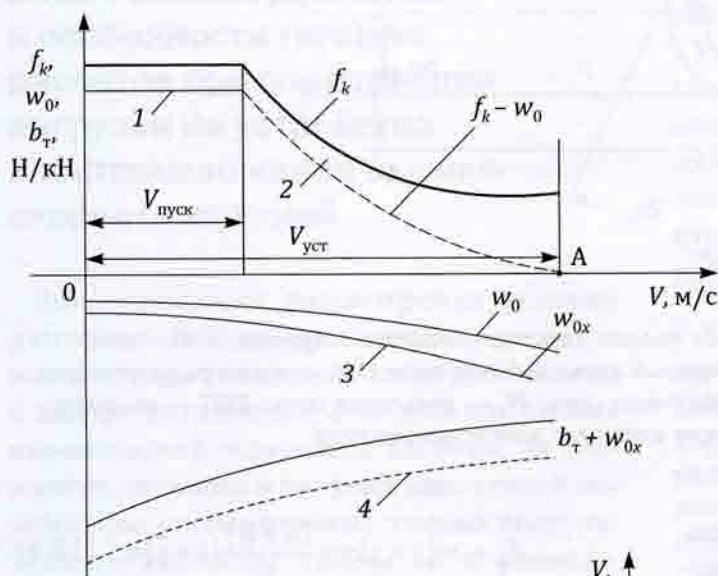
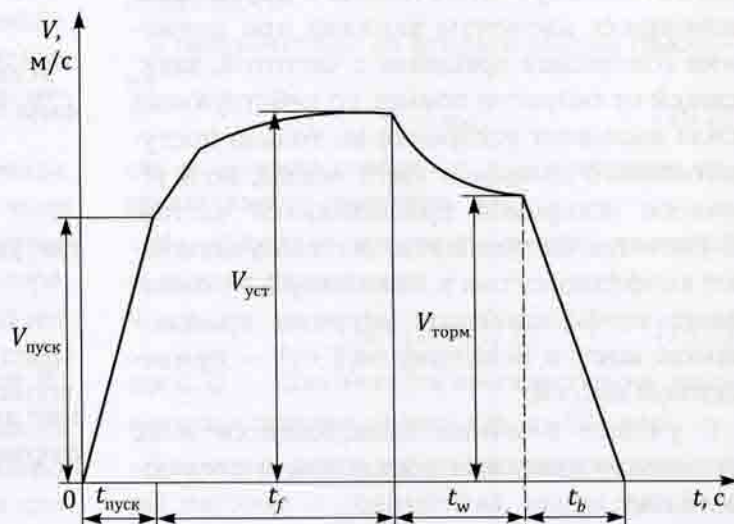


Рис. 10.5. Зависимости удельных сил от скорости движения на прямолинейном горизонтальном пути (учитывается основное сопротивление движению w_0)

Рис. 10.6. Зависимости скорости движения от времени при различных режимах движения поезда ($V_{пуск}$ и $t_{пуск}$; $V_{уст}$ и t_f ; t_w , $V_{торм}$, t_e — соответственно скорость окончания пуска и время пуска, установившаяся скорость и время от окончания пуска до выхода на установившуюся скорость, время движения на выбеге, скорость начала торможения и время торможения)



На рис. 10.5 в первом квадранте приведены результаты анализа уравнения движения поезда для удельных ускоряющих сил в различных режимах движения поезда: при пуске и разгоне $a = \text{const}$ до скорости $V_{пуск}$ (прямая 1), при движении с увеличивающейся скоростью $a \neq \text{const}$ до скорости установившегося равномерного движения $V_{уст}$ (кривая 2, точка A). В четвертом квадранте приведены зависимости замедляющих сил от скорости движения при выбеге без торможения (кривая 3) и при остановке поезда на выбеге с последующим торможением (кривая 4).

Фазы движения поезда от пуска до полной остановки в виде зависимости скорости от времени нахождения в разных фазах движения, обусловленных значением ускоряющих и замедляющих сил показаны на рис. 10.6. Решение уравнения движения

Таблица 10.1

Основное сопротивление движению электровозов, электропоездов, пассажирских вагонов

Подвижной состав	Основное удельное сопротивление (Н/кН) для скорости, м/с (км/ч) ¹										
	2,78 (10)	8,3 (30)	13,9 (50)	22,2 (80)	27,8 (100)	33,3 (120)	38,9 (140)	55,6 (200)	69,4 (250)	83,3 (300)	97,2 (350)
Электровозы при движении под током	2,03	2,47	3,15	4,02	5,9	7,42	9,18	—	—	—	—
Электровозы при движении без тока	2,54	2,76	3,83	5,52	7,0	8,76	10,8	—	—	—	—
Электропоезда при движении под током	0,91	1,57	2,03	3,51	4,4	5,81	6,37	—	—	—	—
Электропоезда при движении без тока	1,32	1,91	2,68	4,17	5,4	6,43	8,41	—	—	—	—
Пассажирские цельнометаллические вагоны на роликовых подшипниках	1,4	1,81	2,39	3,57	4,56	5,72	7,05	—	—	—	—
Скоростные электровозы ЧС 200	2,03	2,47	3,15	4,02	5,9	7,42	9,18	15,9	—	—	—
Скоростные электропоезда ЭР200	1,3	1,75	2,21	3,15	3,94	4,86	5,91	8,86	—	—	—
Высокоскоростной поезд «Сокол»	0,99	1,25	1,61	2,24	2,95	3,66	4,47	7,5	10,71	14,55	19,1

¹ В числителе в м/с, в знаменателе — км/ч.

поезда для конкретных участков профиля пути и расположения остановочных пунктов позволяет получить время хода поезда, пройденное расстояние и другие параметры движения.

В табл. 10.1 приведены данные, характеризующие изменение основного сопротивления движению на горизонтальной площадке для основных видов подвижного состава. Из анализа этих данных следует, что основное сопротивление существенно зависит от формы обтекаемых поверхностей и от скорости. При этом составляющая основного сопротивления, зависящая от квадрата скорости, достигает более половины общего значения сопротивления уже при скорости около 120 км/ч.

Для скоростей движения 160 км/ч и выше эмпирические зависимости основного сопротивления движению имеют более сложную форму. При этом существенное значение

имеет аэродинамическое сопротивление движению. Непосредственно перед лобовой поверхностью головной единицы поезда создается зона повышенного давления. Воздух из этой зоны обтекает движущийся поезд вдоль боковых поверхностей. Завихрения воздуха образуются в промежутках между вагонами, в подвагонном пространстве, за токоприемниками и другим крышевым оборудованием. За последним вагоном (локомотивом, в случае его нахождения в хвосте поезда) создается зона пониженного давления и туда устремляется воздух, образуя завихрения.

Расход энергии, затрачиваемой на перемещение поезда, удобно определять с использованием показателя *удельного электропотребления*. Удельное электропотребление — это потребление энергии в ватт-часах на 1 тонну массы поезда и 1 километр пройденного пути.

10.3. Требования к устройствам электроснабжения высокоскоростных линий

Для железных дорог со скоростью движения до 160 км/ч характер электротяговой нагрузки подчиняется закону нормального (Гауссова) распределения. Выбор устройств электротяговой сети осуществляется, исходя из максимальных значений токовых нагрузок в течение времени цикла графика движения поездов.

Высокоскоростные железные дороги и железные дороги с интенсивным движением, повышенной пропускной способностью, с небольшими интервалами (3—15 мин) между поездами и потребляемой мощностью 10—18 МВт и более имеют иной характер электротяговой нагрузки. Для таких линий характерна импульсная нагрузка, как для проводов электротяговой сети, так и для преобразователей и коммутационных аппаратов тяговых подстанций, постов секционирования, других линейных устройств. При этом возрастают пиковые нагрузки на тяговые подстанции, увеличиваются потери напряжения и энергии в устройствах тягового электроснабжения, усложняются условия токоотбора и повышается нагревание проводов контактной сети.

Удельная мощность электропотребления высокоскоростных линий составляет 1—1,3 МВт/км, а для железнодорожных двухпутных линий с повышенной пропускной способностью может достигать 1,7—2,5 МВт/км. По нормам Международного союза железных дорог (МСЖД), разработанным в 1996 г., для двухпутной высокоскоростной линии с максимальной скоростью 300—350 км/ч предусматривается максимальная удельная мощность потребления электроэнергии на тягу 3 МВт/км. Мощность устройств тягового электроснабжения рекомендуется принимать, исходя из указанной удельной мощности электропотребления.

Потребная электротяговая мощность зависит от многих факторов, основными из которых являются масса поезда, скорость

движения, основное сопротивление движению, интервалы между поездами, частота троганий и разгонов, возможность рекуперативного торможения, план и профиль пути, характеристики сети тягового электроснабжения. Определение параметров электротяговой сети является сложной задачей, решение которой с требуемой точностью достигается современным методом физикоматематического моделирования процесса высокоскоростного движения поездов (см. рис. 10.2).

Скорость движения поезда непосредственно зависит от уровня напряжения у токоприемников электроподвижного состава. На российских железных дорогах для линий со скоростью движения до 160 км/ч в нормальном режиме правилами установлено наименьшее напряжение на токоприемнике на любом участке не ниже 2,7 кВ для системы постоянного тока и 21 кВ при переменном токе. Снижение напряжения от номинальных значений соответственно 3,0 кВ и 25 кВ до минимально допустимых уровней приводит к потере мощности электроподвижного состава на 15 % и к уменьшению средней технической скорости на 7—8 %. Для обеспечения требуемого качества электрического питания при переводе электрифицированных линий на скоростное движение осуществляется усиление устройств тягового электроснабжения, в результате которого наименьшее напряжение в нормальном режиме при скорости движения свыше 160 км/ч должно быть не ниже 2,9 кВ на постоянном токе и 24 кВ на переменном токе.

10.4. Способы усиления системы тягового электроснабжения

Основными способами усиления тягового электроснабжения являются (рис. 10.7):

— повышение уровня напряжения в электротяговой сети путем перевода электрифицированной линии на систему электрической тяги однофазного тока напряжением 25 кВ;

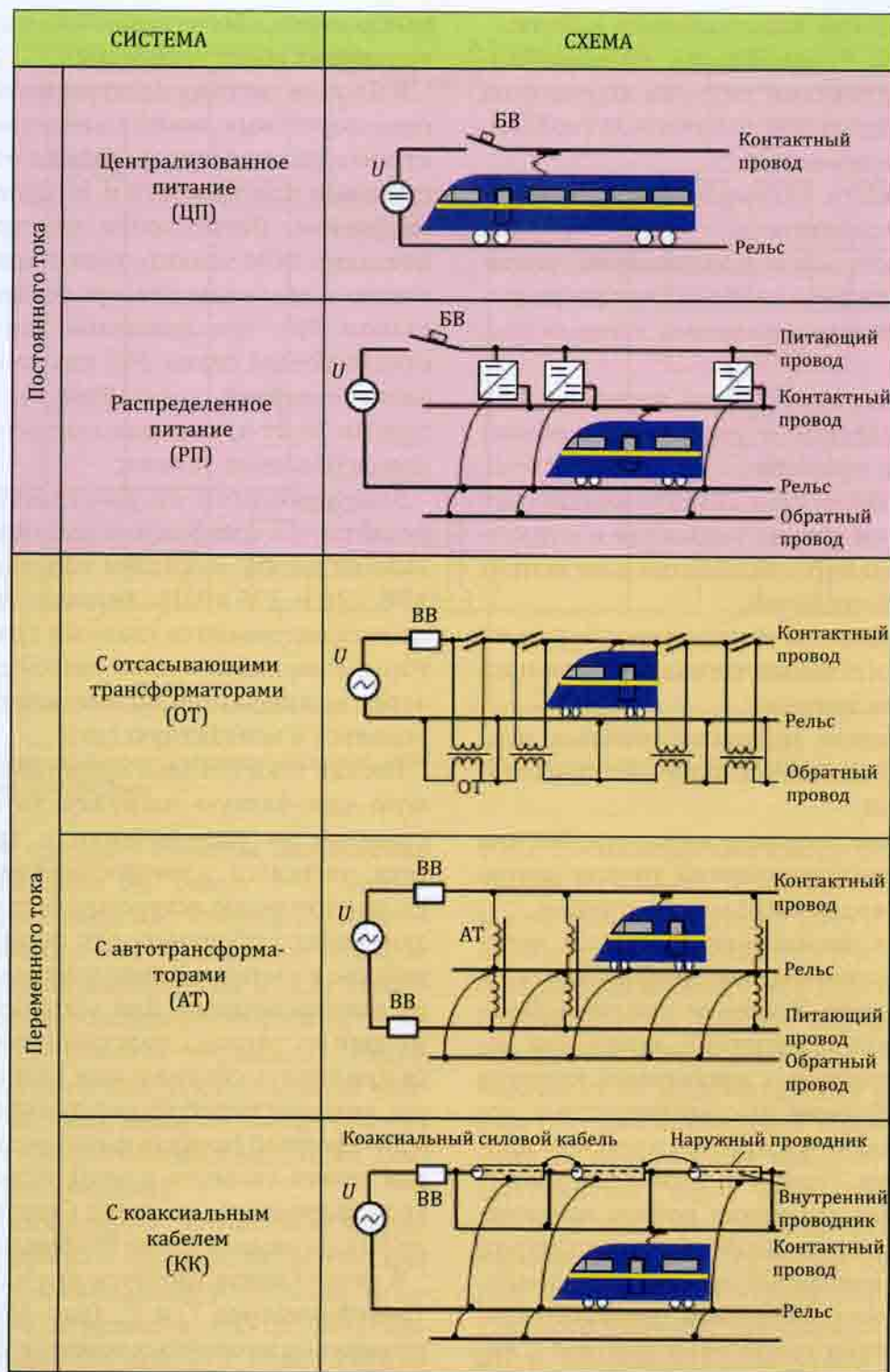


Рис. 10.7. Технические решения по усилению системы тягового электроснабжения

— в перспективе, повышением уровня напряжения в контактной сети постоянного тока до 18—24 кВ и созданием электроподвижного состава постоянного тока высокого напряжения;

— применение системы распределенного питания электротяговой сети с продольными линиями высокого напряжения на переменном токе — система 2×25 кВ с автотрансформаторными пунктами;

- применение коаксиального кабеля;
- система с линейными преобразовательными пунктами питания контактной сети от продольной высоковольтной линии электропередачи.

При усилении тягового электроснабжения также используется:

- автоматическое поддержание напряжения у токоприемников за счет регулирования напряжения на шинах тяговых подстанций;

- монтаж усиливающих проводов контактной подвески и увеличение сечения контактных проводов;

- применение схем питания контактной сети с постом секционирования и пунктами параллельного соединения контактных подвесок обоих путей;

- сооружение на межподстанционных зонах дополнительных тяговых подстанций или пунктов питания;

- увеличение мощности тяговых подстанций и уменьшение длины межподстанционных зон;

- усиление внешнего электроснабжения и ограничение отклонений уровня напряжения на вводах тяговых подстанций.

Эффект от применения отдельных мероприятий различен и, как правило, является недостаточным. Усиление тягового электроснабжения конкретной линии для достижения требуемых показателей качества электроснабжения высокоскоростных поездов выполняется при комплексном применении мер. Наряду с техническими мероприятиями, снижение потерь напряжения в тяговой сети может быть достигнуто за счет рациональной организации движения. Например, введением пакетного графика движения скоростных поездов с интервалами между ними, равными времени хода по наиболее длинному участку между тяговыми подстанциями, что обеспечивает нахождение на каждой межподстанционной зоне только одного поезда.

Электрифицированные ВСМ Японии, Франции, Испании, Италии и других стран построены с применением новых технологий электроснабжения высокоскорост-

ных поездов, обеспечивающих выполнение указанных выше требований.

В Японии система электроснабжения высокоскоростных линий Синкансэн включает внешнее электроснабжение от государственных электросетей и тяговое электроснабжение. Потребление электроэнергии поездами ВСМ значительно выше по сравнению с обычным электроподвижным составом. Так, при движении высокоскоростного поезда серии 300 удельный расход электроэнергии составляет 42 Вт·ч/т·км против 28 Вт·ч/т·км для скоростных поездов на обычных линиях.

Электроэнергия от электростанций передается по трехфазным высоковольтным линиям электропередачи напряжением 77, 154, 220 и 275 кВ. На тяговых подстанциях устанавливаются главные трансформаторы. Напряжение понижается до 25 кВ и через выключатели по питающим линиям подается в контактную сеть.

Так как токи поездов представляют большую однофазную нагрузку, то непосредственное их подключение к трехфазной сети внешнего электроснабжения создает значительную асимметрию токов по фазам, неблагоприятную для нормальной ее работы, и вызывает дополнительные потери электроэнергии. Для устранения асимметрии на тяговых подстанциях приходится применять специальные трансформаторы, которые преобразуют трехфазный ток в двухфазный (каждая фаза предназначена для своего тягового плеча). Используются трансформаторы по схеме Скотта и по модифицированной схеме Вудбриджа.

В схеме Скотта имеются два однофазных трансформатора T_t и T_m (рис. 10.8, а) с напряжением вторичных обмоток 25 кВ.

В схеме Вудбриджа, разработанной для упрощения изоляции трансформатора, первичные обмотки трех однофазных трансформаторов соединяются по схеме «звезда» с заземленной нулевой точкой (рис. 10.8, б). Вторичные обмотки соединяются по схеме «треугольник», образуя две цепи питания. При упрощенной конструкции трансформатора и равенстве числа вит-

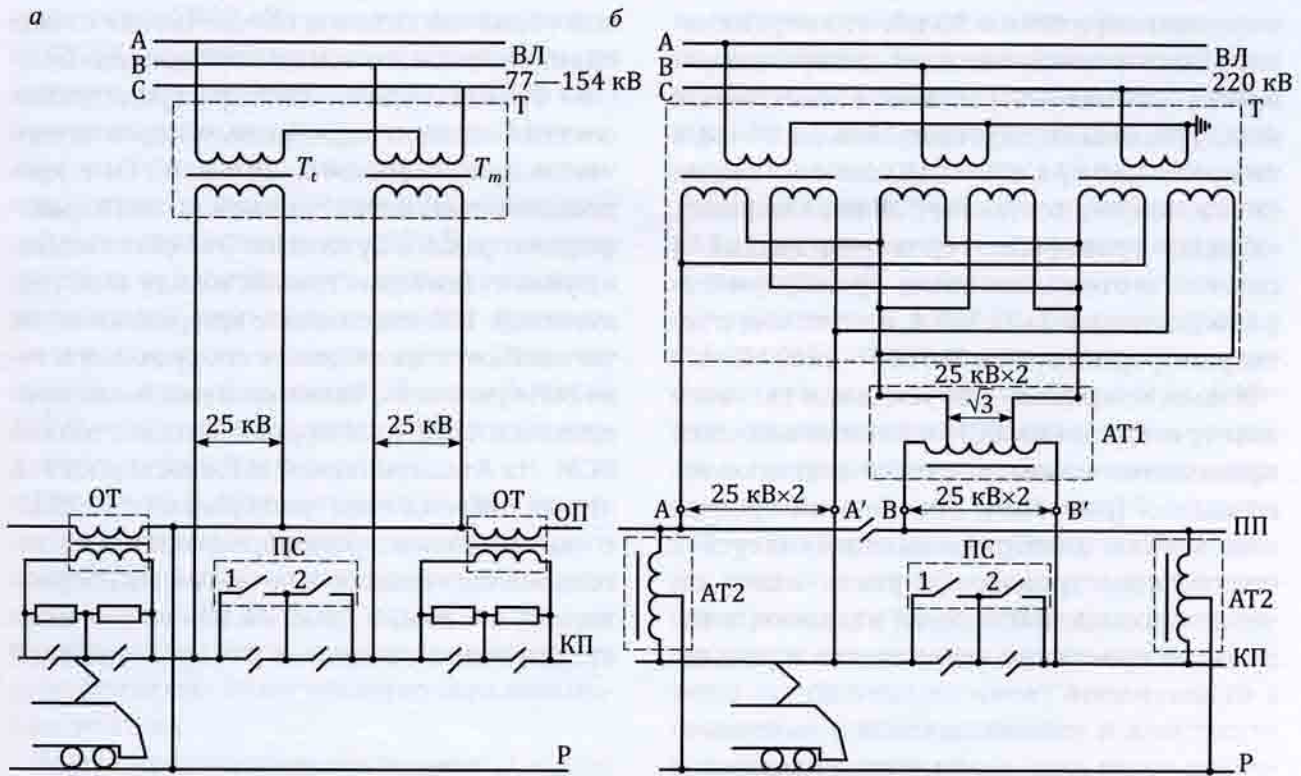


Рис. 10.8. Схема тягового электроснабжения ВСМ Японии: а — по схеме Скотта; б — по модифицированной схеме Вудбриджа

ков всех вторичных обмоток напряжение в выходной цепи ВВ' равно $1/\sqrt{3}$ напряжения другой цепи АА'. Посредством автотрансформатора АТ1 напряжение повышается до уровня напряжения между точками АА'. Обе цепи смещены по фазе на 90 эл. град., поэтому в местах сопряжений секций контактной сети предусматриваются нейтральные вставки, которые поезда обычно проходят с выключенными тяговыми двигателями (по инерции).

На японских линиях Синкансен не допускается перерыва в электроснабжении, для чего предусматриваются устройства автоматического переключения, срабатывающие при переходе поезда с одной секции контактной сети на другую. Такие пункты секционирования (ПС) имеют переключатели 1 и 2, которые подключают нейтральную вставку к левой, а затем к правой секции контактной сети по мере прохода токоприемника поезда соответствующих изолирующих сопряжений.

Для снижения влияния на смежные линии связи путем уменьшения обратного

тока, замыкающегося как по рельсовой сети, так и по земле, применяются отсасывающие трансформаторы (ОТ) с коэффициентом трансформации 1 : 1 (см. рис. 10.8, а) и обратный провод (ОП). При такой схеме обеспечивается возврат блуждающих токов утечки в отсасывающую линию. Подключение ОТ мощностью 240 кВА к соседним секциям контактной подвески, разделенным воздушными промежутками, осуществляется через 3 км. При больших тяговых токах во время прохода токоприемника возникает сильный дуговой разряд и появляется угроза пережога контактного провода, что вызвало необходимость усложнения контактной сети за счет включения резисторов для снижения интенсивности разрядов.

На новых ВСМ Японии применяется распределенная схема питания $2 \times 25 \text{ кВ}$ с автотрансформаторами АТ2 мощностью 10 МВ·А (см. рис. 10.8, б), устанавливаемыми через 10 км. При этом передача энергии к поездам обеспечивается по контактным (КП) и питающим (ПП) проводам на повы-

шенном напряжении 50 кВ, что ограничивает токи утечки, снижает потери напряжения, позволяет увеличить расстояние между тяговыми подстанциями до 50 км, в то время как при обычной схеме на линии Синкансен оно составляет 20 км. Мощность главных трансформаторов подстанций в системе с отсасывающими трансформаторами достигает 2×30 МВ·А, а в системе с автотрансформаторами $2 \times (100—150)$ МВ·А.

Новым направлением усиления тягового электроснабжения ВСМ в Японии является применение высоковольтного коаксиального кабеля (рис. 10.9). Внутренний проводник кабеля электрически соединяется с контактным проводом и увеличивает сечение провода контактной подвески, а наружный проводник соединяется с рельсо-

вой обратной сетью и обеспечивает ответвление обратного тока в этот проводник.

Во Франции применяется распределенная система питания однофазным переменным током напряжением 2×25 кВ, 50 Гц с продольной питающей линией и автотрансформаторными пунктами. Это обеспечивает увеличение расстояния между подстанциями до 100 км, снижает вредное влияние тяговой сети на смежные сооружения и телефонную связь. Такая система была применена в 1981 г. на первой Юго-Восточной ВСМ. На Атлантической высокоскоростной линии система электроснабжения 2×25 кВ с однофазными трансформаторами на тяговых подстанциях и с автотрансформаторами на линии (рис. 10.10) обеспечивает движение поездов с отбором высокой

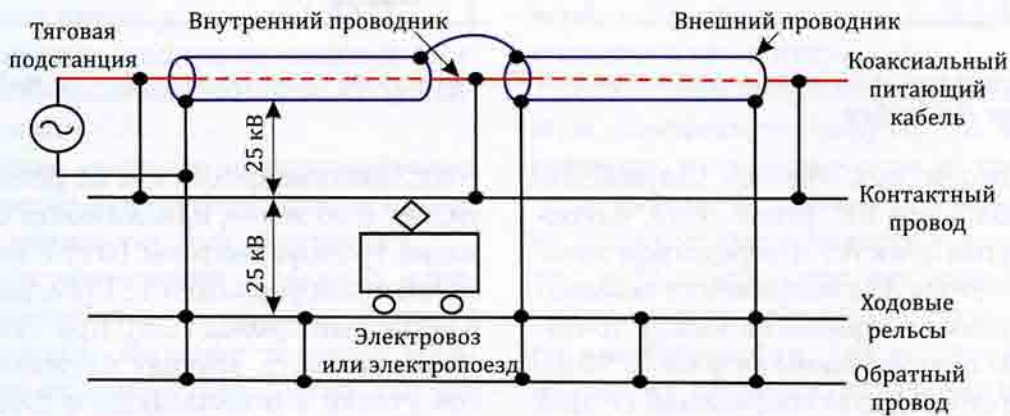


Рис. 10.9. Схема электроснабжения высокоскоростных магистралей в Японии с использованием высоковольтного коаксиального кабеля

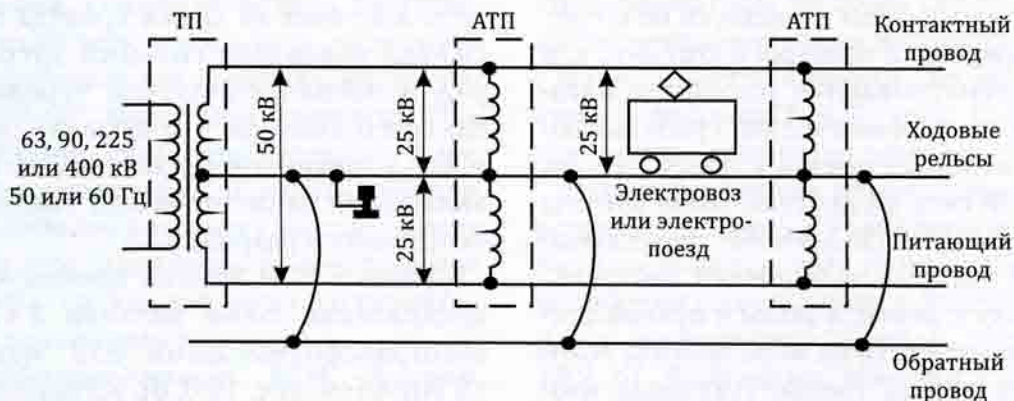


Рис. 10.10. Схема тягового электроснабжения на ВСМ Франции: ТП — тяговая подстанция; АТП — автотрансформаторный пункт

мощности: 8800 кВт на одну секцию поезда TGVA и с удвоением ее при движении по системе многих единиц (т.е. 2×8800 кВт) при плотности движения в пиковые периоды с интервалами 4 мин. Тяговые подстанции питаются по двум линиям электропередачи напряжением до 400 кВ от энергосистемы и сооружаются в соответствии с концепцией централизованного питания. На подстанциях предусмотрено резервирование трансформаторной мощности на 100 %, т.е. устанавливаются два трансформатора: рабочий и резервный.

Каждая трансформаторная ячейка содержит однофазный трансформатор с естественным масляным охлаждением и единичной мощностью 60 МВ·А с реактивным сопротивлением, ограничивающим на стороне напряжения 50 кВ ток короткого замыкания до 12 кА.

Посты секционирования и пункты параллельного питания оборудуются двумя автотрансформаторами 50/25 кВ мощностью по 10 МВ·А каждый с меньшим напряжением короткого замыкания по сравнению с трансформатором тяговой подстанции для снижения падения напряжения на линии. На постах секционирования предусматривается устройство нейтральной вставки в контактной сети, так как напряжение тягового тока в примыкающих участках не совпадает по фазе.

Каждый автоматический выключатель имеет микропроцессорную фазочувствительную защиту с порогом срабатывания по току, реагирующую на все виды замыканий в системе контактная сеть—рельс и питающие линии—контактная сеть.

Выключатели работают по принципу гашения дуги в элегазе (SF_6), имеют номинальный ток 1250 А и отключающую способность 15 000 А.

Железные дороги Германии, в том числе и высокоскоростные линии, в свое время были электрифицированы по системе однофазного переменного тока пониженной частоты $16\frac{2}{3}$ Гц. Такая частота электрической тяги получалась делением на три промышленной частоты 50 Гц с помощью

электромашинных, а в настоящее время — полупроводниковых преобразователей. Она обеспечивала применение на электроподвижном составе коллекторных электродвигателей однофазного тока при прямом питании от контактной сети переменного тока без выпрямления. Такие двигатели удовлетворительно работают при частоте переменного тока до 20 Гц. На скоростных и специализированных высокоскоростных линиях Германии, а также Швеции и Австрии, традиционная для этих стран система электроснабжения однофазного тока напряжением 15 кВ пониженной частоты $16\frac{2}{3}$ Гц сохранена до настоящего времени, хотя при использовании современного электроподвижного состава с асинхронными двигателями и преобразователями частоты эта система не имеет преимуществ в сравнении с использованием в электротяговой сети переменного тока промышленной частоты. Более того, система $16\frac{2}{3}$ Гц усложняет систему электроснабжения железных дорог необходимостью применения дополнительных преобразователей. Германские высокоскоростные поезда ICE оборудованы тяговыми электроприводами с трехфазными асинхронными двигателями и полупроводниковыми преобразователями плавно регулируемой частоты. Имеются модификации поездов для любой системы тока в контактной сети, а также многосистемные поезда, способные работать с тяговой сетью постоянного тока 1,5 или 3 кВ и переменного тока 50 Гц или $16\frac{2}{3}$ Гц.

Для железнодорожной магистрали Санкт-Петербург — Москва в России при переводе ее на высокоскоростное движение были рассмотрены несколько вариантов усиления тягового электроснабжения: перевод с постоянного тока 3 кВ на однофазный переменный ток 25 кВ, 50 Гц, 2×25 кВ, 35 кВ + +25 кВ, на постоянный ток высокого напряжения (до 24 кВ) и другие системы. В силу сложившихся экономических условий в начале двухтысячных годов был принят вариант усиления существующей системы электроснабжения постоянного тока 3 кВ. Для усиления тягового электроснабжения

построены дополнительные тяговые подстанции, на которых смонтированы более мощные преобразовательные агрегаты по 12-пульсовой схеме выпрямления, реконструирована контактная сеть на основе современной отечественной сети КС200 с увеличенным сечением проводов контактной подвески, на ряде тяговых подстанций установлены вольтодобавочные установки, обеспечивающие стабилизацию напряжения на шинах тяговых подстанций.

10.5. Критерии выбора параметров сети тягового электроснабжения

На скоростных и высокоскоростных железных дорогах, как и на обычных, основными параметрами тягового электроснабжения являются: род тока, мощность источников питания, расстояние между тяговыми подстанциями ($L_{\text{ТП}}$), установленная мощность тяговой подстанции ($S_{\text{ТП}}$), тип и сечение проводов контактной подвески, схема питания и секционирования тяговой сети.

Правильный выбор параметров устройств тягового электроснабжения обеспечивает основные условия надежной и безопасной эксплуатации железной дороги, особенно при повышенных скоростях. Результаты исследований и обобщение опыта строительства и эксплуатации высокоскоростных линий позволили установить основные критерии выбора устройств тягового электроснабжения:

- уровень напряжения у токоприемника при любых условиях эксплуатации;
- нагрузочная способность по току контактной подвески;
- напряженность электромагнитного поля в зоне пути;
- допустимые значения напряжения системы «рельс—земля»;
- мощность питающей энергосистемы.

В условиях скоростных и высокоскоростных линий уровень напряжения у токо-

приемников всех поездов, находящихся на участке между двумя соседними подстанциями, не должен быть ниже определенного значения, устанавливаемого соответствующими нормативными документами.

Так, на железных дорогах Германии для двухпутных участков, оборудованных контактной сетью типа Re330 с параллельным соединением подвесок и двухсторонним питанием при системе переменного тока 15 кВ, $16^{2/3}$ Гц, минимальное значение напряжения принято равным 14,2 кВ. При системе тока 25 кВ, 50 Гц и одностороннем питании установлено минимальное напряжение 22,5 кВ.

При проходе высокоскоростного поезда по участку между тяговыми подстанциями напряжение у токоприемника непрерывно изменяется. Важно установить, как долго сохраняется минимальное напряжение, за какой промежуток времени определяется среднее значение напряжения, принимаемое за соответствующий базовый параметр при расчете каждого значения. Основной принцип проверки правильности выбора параметров тягового электроснабжения по критерию напряжения у токоприемника высокоскоростного поезда может быть сформулирован на основе оценки полученных значений скорости и тягового усилия, реализуемых поездом при данном напряжении; это позволит достигнуть необходимых режимов, как по уровню токовой нагрузки питающей сети, так и по точности выполнения графика движения поездов.

Тепловая и механическая нагрузки токоведущих частей тягового электроснабжения достигают экстремальных (предельных) значений при коротких замыканиях (к.з.) в электротяговых сетях. Короткие замыкания возникают в результате старения изоляции, механических повреждений, коммутационных и атмосферных перенапряжений, загрязнения изоляторов. Токи коротких замыканий индуцируют напряжения прикосновения в параллельно проходящих линиях, опасные для жизни. Для правильного выбора электротяговых устройств, в том числе силовых выключа-

телей, токовых защит, необходимо знать предельные значения токов короткого замыкания.

Значения установившихся токов короткого замыкания при системе постоянного тока достигают 25 кА и более, при системе переменного тока 25 кВ, 50 Гц — превышают 12 кА. Длительность действия токов короткого замыкания $t_{к.з}$ определяется временем срабатывания электронных защит t_3 и временем срабатывания силового выключателя $t_в$, т.е. $t_{к.з} = t_3 + t_в$, и составляет 10—25 мс на постоянном токе, 20—45 мс на переменном токе с вакуумными выключателями и 45—75 мс — на переменном токе с масляными выключателями.

Частота отключений фидерных линий по причине коротких замыканий в электротяговой сети по данным эксплуатации высокоскоростных железных дорог Германии составляет примерно одно отключение в год в расчете на 1 км двухпутного участка. Главными причинами аварийных отключений являются: воздействия посторонних тел (части вагонов, птицы и животные); повреждения на самом электроподвижном составе, неисправности токоприемников; метеорологические факторы (грозы, порывы ветра, бури, гололед); неисправности контактной сети (износ, дефекты материалов и деталей).

Предельно допустимая токовая нагрузка контактных проводов оценивается термостойкостью или предельно допустимой термической нагрузкой. Наиболее влияющим на нагрузочную способность по току является фактор α — коэффициент теплопередачи, содержащий компоненты конвекции α_c и излучения α_r , т.е. $\alpha = \alpha_c + \alpha_r$. Эти компоненты зависят от чистоты поверхности и многих других факторов, рассматриваются отдельно и определяются по специальной методике. В расчетах используются критерий Нуссельта, число Рейнольдса, число Грасгофа, число Прандтля.

Постоянная времени τ находится в диапазоне от 4 до 8,5 мин. Это позволяет утверждать, что при пакетном графике движения скоростных поездов с интервалом от 6 до 15 мин нагрузочная способность контакт-

ной подвески по току должна быть обеспечена согласованным выбором сечения проводов и времени действия токовых защит на основе анализа переходных тепловых процессов.

Важной динамической характеристикой контактного провода является зависимость тока плавления в контакте у токоприемника во время стоянки локомотива от времени протекания тока (рис. 10.11).

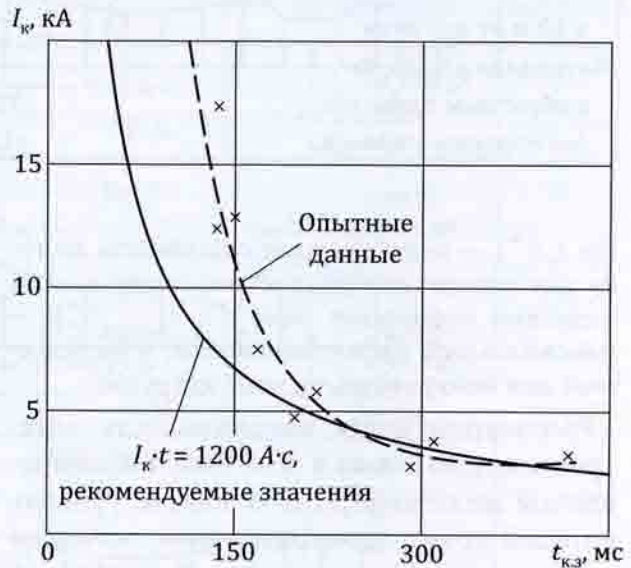


Рис. 10.11. Экспериментальные данные тока плавления контактного провода Ri100 в зоне контактной вставки токоприемника при неподвижном электровозе

При сравнении токовой нагрузки контактной подвески и термической нагрузочной способности по току в идеальном случае должно выполняться условие, вытекающее из принципа превышения длительной нагрузочной способности над максимальной токовой нагрузкой I_{\max} . При этом допустимая предельная температура в эксплуатации контактной сети не достигается, и указанный принцип при проектировании не приводит к выбору более экономичного решения. Для высокоскоростных линий принцип сравнения сформулирован как достижение минимума разности токов, учитывающих перегрузочную способность конкретной контактной подвески в кратковременных режимах:

$$I_F(t^*) - I_{\text{эф.мах}}(t^*) \rightarrow \min, \quad (10.10)$$

Напряженность магнитного поля и потенциал рельса в зоне электрифицированных высокоскоростных линий

Наименование параметра	Система тока			
	25 кВ, 50 Гц		15 кВ, $16^{2/3}$ Гц	
	с обратным проводом	без обратного провода	с обратным проводом	без обратного провода
Максимальный ток, кА	1,7		2,8	
Напряженность, А/м:				
в 5 м от оси пути	38	50	63	84
в 10 м от оси пути	13	21	21	35
Потенциал рельса, В:				
с обратным проводом	72		120	
без обратного провода	113		188	

где $I_F(t^*)$ — перегрузочная способность по току для конкретной контактной подвески при заданном временном окне t^* ; $I_{\text{эф.макс}}(t^*)$ — максимальный эффективный ток, определяемый для конкретных тяговых нагрузок.

Рассмотрим далее напряженность электромагнитного поля в зоне электрифицированной железнодорожной линии, уровень которой прямо пропорционален значению протекающего тягового тока. В контактной сети высокоскоростной линии при системе тока 25 кВ, 50 Гц в минутном режиме возможны токи нагрузки до 1,7 кА, на линиях 15 кВ, $16^{2/3}$ Гц (при двухстороннем питании) токи достигают 2,8 кА, а при системе постоянного тока напряжением 3,0 кВ — превышают 7 кА. В табл. 10.2 приведены данные оценки напряженности магнитного поля, измеренной на высоте 1 м над уровнем головки рельса для высокоскоростных электрифицированных линий Европы.

На основе проведенных экспериментов установлено, что напряженность магнитного поля не превышает предельных значений (80 А/м и 239 А/м соответственно для систем 25 кВ, 50 Гц и 15 кВ, $16^{2/3}$ Гц),

¹ t^* — временной фиксированный интервал, используемый при обработке графика нагрузки $I(t)$, который перемещается на оси времени t (см. критерии расчета параметров сети тягового электроснабжения // Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. Т2. / Под ред. В.И. Ковалева. — СПб.: Информационный центр «Выбор», 2003. — С. 176).

но оказывает мешающее воздействие на электронные и электротехнические устройства, находящиеся вблизи электрифицированных линий. Наибольший практический интерес представляет учет мешающих и опасных влияний, вызываемых контактными сетями переменного тока 25 кВ, 50 Гц, в которых вследствие функционирования преобразовательного электрооборудования электроподвижного состава генерируются токи низких частот (от 50 Гц до 9 кГц).

10.6. Динамика высокоскоростной контактной сети

Особенности контактной сети скоростных и высокоскоростных линий определяются конструктивными параметрами контактных подвесок, зависящих от многих факторов. Основными из них являются допустимая нагрузка по току и максимальная скорость движения по условию обеспечения надежного токосъема. Различают контактные подвески постоянного и переменного тока, а также подвески для обычных (до 160 км/ч), скоростных (до 200 км/ч) и высокоскоростных (более 200 км/ч) электрифицированных линий. На рис. 10.12 приведены схемы контактных подвесок ско-

Динамические показатели				Типы контактных подвесок и их параметры
C_p км/ч	r	α (V, км/ч)	γ (V, км/ч)	
а	426	0,425	0,26	
			1,63	
			(250)	
			0,174	
			2,49	
б	572	0,465	(300)	
			0,27	
			1,72	
			(350)	
			(350)	
в	440	0,365	0,189	
			(300)	
			0,114	
			3,18	
			(350)	
г	382	0,55	0,31	
			(200)	
			0,21	
			2,14	
			(250)	
д	539	0,46	0,12	
			(300)	
			0,21	
			2,19	
			(350)	

Рис. 10.12. Схема контактной подвески на скоростных и высокоскоростных дорогах: а — подвеска типов Re250 (Германия); б — Re330 (Германия); в — SNCF (Франция); г — KC-200 (Россия); д — ВСМ (проект, Россия)

ростных и высокоскоростных железнодорожных линий: *а* и *б* — подвески типа Re250 и Re300 (Германия), род тока переменный 15 кВ, $16\frac{2}{3}$ Гц, конструкционная скорость движения поездов, соответственно, 250 и 330 км/ч; *в* — подвеска типа SNCF (Франция), род тока переменный 25 кВ, 50 Гц, конструкционная скорость движения 300 км/ч; *г* — подвеска типа КС200 (Россия, скоростная линия); род тока постоянный, 3 кВ; конструкционная скорость движения до 250 км/ч; *д* — ВСМ (проект, Россия); род тока переменный 25 кВ, 50 Гц; конструкционная скорость движения 350 км/ч.

Рассматриваемые контактные подвески — цепные одинарные компенсированные. Контактные провода выполняются из электролитической или легированной меди, несущий трос — из меди или бронзы. Подвески могут быть как с рессорным тросом, так и без него. Натяжение несущего троса T и контактных проводов K принимаются большими, чем при традиционных контактных подвесках; сечение контактного провода увеличивается до 120—150 мм²; длина пролета между опорами уменьшается до 63—65 м.

Контактные подвески делятся на анкерные участки длиной 1200 м. Сопряжения контактных подвесок соседних анкерных

участков выполняются, как правило, четырех- и пятипролетными.

Анализ взаимодействия токоприемников подвижного состава и контактных подвесок, выполненный отечественными и зарубежными учеными, позволяет выделить ряд критериев, с помощью которых можно оценить влияние отдельных конструктивных параметров на эффективность передачи электроэнергии на подвижной состав при различных скоростях движения. Для того чтобы обеспечить хорошее качество контакта, необходимо ограничить отжатие контактной подвески, особенно в опорных точках. При низких и средних скоростях, примерно до 50 % от скорости распространения волны в контактом проводе, его отжатие пропорционально эластичности контактной подвески и отжимающей силе токоприемника. Повышение скорости и необходимость обеспечения качества контакта определяют требование ограничения отжатия и, как следствие, — уменьшения эластичности (рис. 10.13).

В середине пролета эластичность определяется по формуле:

$$\eta = \frac{L}{k(K+T)}, \quad (10.11)$$

где L — длина пролета, мм; K, T — натяжение контактных проводов и несущего троса, Н; k — коэффициент, равный 3,5—4.

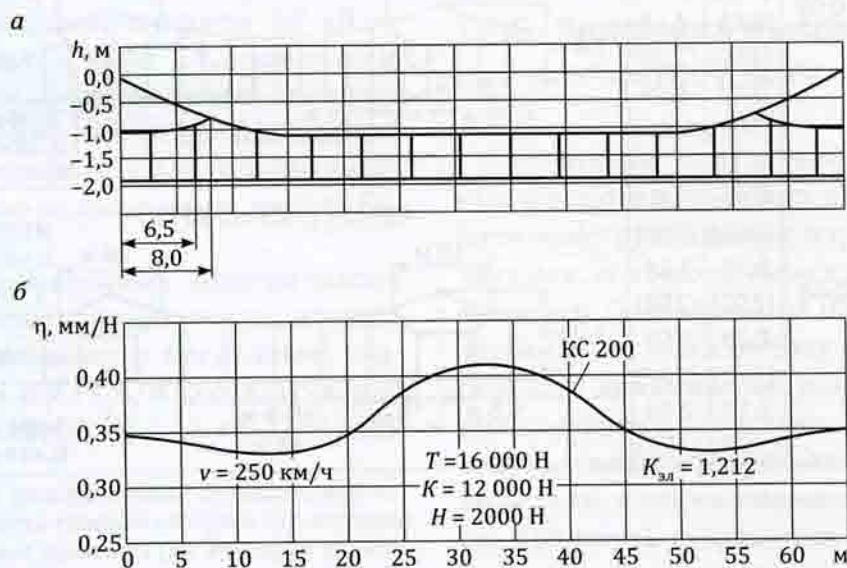


Рис. 10.13. Расчетная эластичность контактной подвески: *а* — схема подвески; *б* — результаты математического моделирования подвески

Эластичность контактных подвесок

Скорость v , км/ч	Эластичность η , мм/Н	Неравномерность u , %
до 100	1,2	50
до 160	1,2	30
до 200	1,1	20
до 250	0,6	10
выше 250	0,4	8

Для контактной подвески типа КС200 ($T = 16\,000$ Н; $K = 12\,000$ Н; $k = 4,0$; $L = 65$ м) $\eta = 0,406$ мм/Н, что хорошо согласуется с результатом математического моделирования.

В одинарных цепных контактных подвесках у опорных точек эластичность уменьшается. Для подвесок без рессорного троса она составляет 30—50 % от его значения в середине пролета. Применением рессорного троса обеспечивается выравнивание эластичности. Ее равномерность в пролете тем важнее, чем выше максимальная скорость движения. Неравномерность эластичности оценивается соотношением

$$u = 100(\eta_{\max} - \eta_{\min}) / (\eta_{\max} + \eta_{\min}), \%, \quad (10.12)$$

где η_{\max}, η_{\min} — соответственно максимальная и минимальная эластичность в пролете.

Для скорости до 250 км/ч величина u ограничена значением 10 %. Например, для железных дорог Германии эластичность и ее неравномерность оцениваются данными, приведенными в табл. 10.3.

В отечественной практике часто используется обратная величина эластичности — жесткость контактной подвески $C_k = 1/\eta$. Для оценки жесткости и эластичности по длине пролета используются также коэффициенты непостоянства жесткости ($K_c = C_{\text{ко}}/C_{\text{кс}}$) и эластичности ($K_{\text{эл}} = \eta_c/\eta_o$). Здесь обозначены индексами «о» величины у опорных точек, индексом «с» — в середине пролета.

Повышение скорости движения сопровождается возрастанием динамического отжатия контактного провода по сравнению с расчетным статическим. Для оценки эффекта отжатия при взаимодействии под-

вески и токоприемника вводятся динамические показатели, определяющие границы реализуемости повышенной скорости при надежном и качественном токосъеме. Они зависят от конструктивного выполнения контактной сети и являются критериями оценки скоростных свойств. К основным динамическим критериям относятся скорость распространения волны вдоль контактного провода c_p , коэффициент отражения волны r и коэффициент усиления γ .

На рис. 10.14 схематично представлены фрагменты отражения и проникновения волны, возбужденной прямоугольным им-

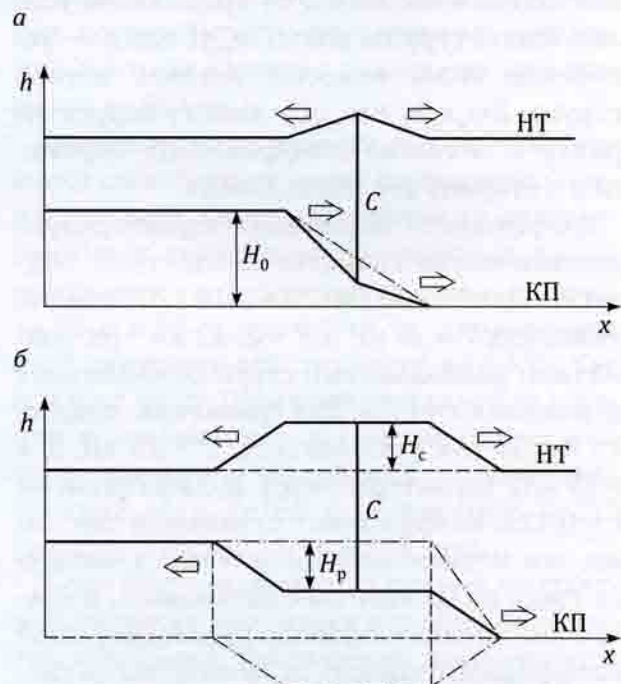


Рис. 10.14. Распространение волны в зоне струнного зажима цепной контактной подвески: а — состояние в момент набегания падающей слева волны; б — состояние после прохождения падающей волны

пульсом силы от токоприемника в точке струнового зажима цепной контактной подвески. Отношение амплитуд отраженной и падающей волн $r = H_{\text{н}}/H_0$ представляет коэффициент отражения. Для цепной подвески падающая волна вызывает реакцию струны и ее перемещение $h_c(t)$. В данной точке от предварительно уравновешенного несущего троса массой $m_{\text{т}}$ и от контактного провода массой $m_{\text{к}}$, а также от сосредоточенной массы зажима M , возникают силы, которые связаны уравнением равновесия:

$$2(m_{\text{т}} c_{\text{т}} + m_{\text{к}} c_{\text{к}})h + Mh = 2m_{\text{к}} c_{\text{к}} h_0, \quad (10.13)$$

$$\text{где } c_{\text{т}} = \sqrt{\frac{T}{m_{\text{т}}}}, \quad c_{\text{к}} = \sqrt{\frac{K}{m_{\text{к}}}}.$$

Коэффициент отражения, найденный в результате решения уравнения равновесия для цепной подвески, равен:

$$r = \frac{m_{\text{т}} c_{\text{т}}}{m_{\text{т}} c_{\text{т}} + m_{\text{к}} c_{\text{к}}} = \frac{\sqrt{Tm_{\text{т}}}}{\sqrt{Tm_{\text{т}}} + \sqrt{Km_{\text{к}}}}. \quad (10.14)$$

Если l — расстояние между струнами контактной подвески, то продольное усилие одной струны равно $m_{\text{к}} gl$, где g — ускорение силы тяжести. Условие изгиба струны $2m_{\text{к}} c_{\text{к}} h_0 \geq m_{\text{к}} gl/r$ вносит корректировку в значение коэффициента отражения в сторону его уменьшения.

Коэффициент отражения характеризует динамические свойства контактной подвески. Для КС200 (М120 + 2МФ120) при натяжениях $T = 18$ кН и $K = 2 \times 12$ кН при шахматном расположении струн коэффициент отражения $r = 0,55$. Для сравнения: подвеска Re250 (Bz70 + CuAgRi120, $T = 15$ кН, $K = 15$ кН) характеризуется коэффициентом $r = 0,425$. Коэффициент отражения тем ниже, чем меньше натяжение и масса несущего троса по сравнению с натяжением и массой контактного провода (проводов). Этот коэффициент зависит от механической связи двух контактных проводов подвески в точке сосредоточенной массы.

При отражении волн от уравновешенных пассивных масс увеличения амплитуды колебаний не происходит. При движущемся

токоприемнике, к которому возвращаются отраженные волны от струн, фиксаторов и т.д., может наблюдаться усиление амплитуды колебаний. Скорость встречного движения токоприемника и отраженной волны составляет $v + c_{\text{к}}$. Из-за инерции токоприемника возникает скачкообразное повышение контактного нажатия:

$$\begin{aligned} \Delta F'_1 &= 2m_{\text{к}} c_{\text{к}} h'_1 = 2m_{\text{к}} c_{\text{к}} h'_p (c_{\text{к}} + v) = \\ &= 2m_{\text{к}} c_{\text{к}} h_0 r \frac{c_{\text{к}} + v}{c_{\text{к}} - v}, \end{aligned} \quad (10.15)$$

где h'_p — крутизна отраженной волны; h_1 — скорость отжатия.

В этом выражении отношение

$$\alpha = \frac{c_{\text{к}} + v}{c_{\text{к}} - v} \quad (10.16)$$

представляет коэффициент Доплера, а отношение

$$\gamma_v = r \frac{c_{\text{к}} + v}{c_{\text{к}} - v} = \frac{r}{\alpha}, \quad (10.17)$$

определяющее степень изменения силы нажатия токоприемника, называется коэффициентом усиления.

До скорости v_{α} , соответствующей $\gamma_v = 1$, не будет происходить усиления амплитуды силы нажатия. Выражение для определения граничной скорости имеет вид

$$v_{\alpha} = c_{\text{к}} \frac{r-1}{r+1}. \quad (10.18)$$

Эта скорость и отражает влияние конструктивных свойств контактной подвески на равномерность нажатия токоприемника, а следовательно, определяет равномерность износа контактного провода и качество токосъема. Граничная скорость не должна превышать скорость распространения волны $v_{\alpha} \leq c_{\text{к}}$.

Для достижения устойчивого токосъема и высокого качества скользящего контакта при повышении скорости движения поездов необходимо применять при проектировании принцип рационального сочетания конструктивных параметров контактных подвесок и токоприемников. Главным параметром, зависящим от скорости движения, является натяжение контактных проводов

и несущего троса. На рис. 10.15 приведена зависимость натяжения контактных проводов от максимальной реализованной скорости с устойчивым токосяемом. Увеличение натяжения сопровождается возрастанием механического напряжения металла проводов. При $v_{\max}=200$ км/ч механическое напряжение составляет 100 Н/мм^2 , при $v_{\max}=350$ км/ч — 133 Н/мм^2 , а при $v_{\max}=506$ км/ч достигает 220 Н/мм^2 . Для получения необходимой прочности контактных проводов следует не только увеличивать их сечение, но и применять материалы повышенной прочности. Сечение проводов в большинстве скоростных контактных подвесок доведено до 150 мм^2 . Для изготовления контактного провода используется высокопрочная медь, легированная серебром, магнием и другими металлами.

Важными конструктивными параметрами являются также длина пролета между опорами, конструктивная высота контактной подвески, стрела провеса контактного провода в середине пролета, точность регулировки контактных проводов.

Увеличение сечения проводов более 150 мм^2 из-за жесткости при монтаже приводит к остаточным неровностям, что в эксплуатации может вызвать повышен-

ный местный износ. С целью ограничения эластичности подвески, которая при постоянном механическом напряжении обратно пропорциональна сечению проводов, их сечение желательно увеличивать. Однако необходимо учитывать, что при этом возрастут затраты. При увеличении скорости движения поездов необходимо, прежде всего, проверить механическое напряжение в проводах контактной подвески. За счет увеличения напряженности материала контактных проводов можно ограничить эластичность, повысить скорость распространения волны, снизить коэффициент отражения.

В последнее десятилетие в Японии при устройстве контактной сети на высокоскоростных железных дорогах, с целью увеличения величины натяжения контактного провода до величины 19 кН и более отмечается использование биметаллических стале-медных контактных проводов (рис. 10.16, 10.17) сечением 110 мм^2 с повышенной прочностью на растяжение. При этом применяется упрощенная схема контактной подвески, обеспечивающая, тем не менее, по результатам проведенных испытаний высокое качество токосяема при скорости до 504 км/ч .

Снижению эластичности контактной подвески способствует также ограничение длины пролета. Опыт эксплуатации отечественных и зарубежных скоростных линий показывает, что переход от длины пролета 80 м к 65 м , принятой за стандартную, дает снижение эластичности на 20% . Как показал опыт Германии, увеличение сечения проводов и повышение механического напряжения при переходе от обычной контактной сети Re160 к скоростной Re250 снижает эластичность в два раза.

Конструктивная высота цепной контактной подвески оказывает влияние на качество токосяема. Уменьшение данного параметра приводит к увеличению стандартного отклонения контактного нажатия. Из опыта применения контактных подвесок для скоростных железных дорог следует, что самая короткая струна в пролете должна быть не менее $0,8 \text{ м}$. Применение рес-

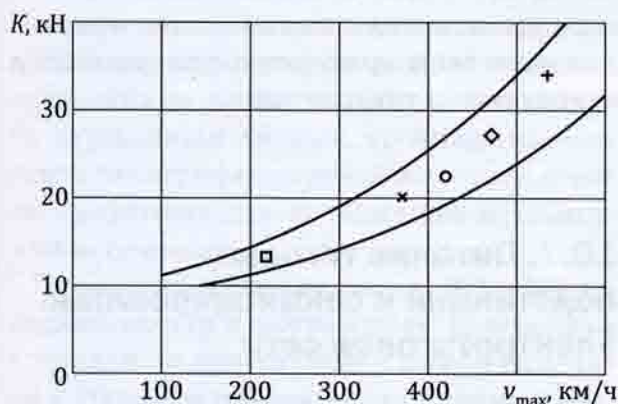


Рис. 10.15. Зависимость натяжения контактных проводов от максимальной скорости движения при использовании различных материалов для контактной подвески: \square — М120+2МФ120(KC200); $+$ — CuRi150+Bz65 (Франция); \times — CuCdRi150+BzII70 (Франция); \diamond — CuMgRi120+BzII120 (Re330) (Германия); \circ — CuAgRi120+BzII70 (Re250) (Германия)



Рис. 10.16. Поперечный разрез стале-медного биметаллического контактного провода марки CS с площадью сечения 110 мм^2 японских высокоскоростных железных дорог и схематическое изображение контактной подвески



Рис. 10.17. Участок контактной подвески с биметаллическим контактным проводом на японской высокоскоростной железной дороге. Япония. 2005 г.

сорного троса в опорном узле способствует повышению эластичности в данной зоне пролета. Выравнивание жесткости позволяет снизить стрелу провеса в середине пролета до 55 мм.

Повышение скорости движения поездов на электрифицированных линиях железных дорог сопровождается применением новых технологий в тяговом электроснабжении. При сооружении или реконструкции контактной сети необходимо учитывать обеспечение безопасности, высокого качества токосъема, снижения затрат на обслуживание и ремонт. Проекты новой контактной сети для участков со скоростным и высокоскоростным движением должны создаваться с оценкой выбранных конструктивных решений по рассмотрен-

ным выше определяющим статическим и динамическим критериям, положенным в основу новых технологий.

10.7. Питание тяговых подстанций и секционирование электротяговой сети

Электрифицированные железные дороги являются потребителями первой категории. Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) все потребители электроэнергии делятся на три категории. К первой категории относятся ответственные потребители, снабжение которых элек-

троэнергией обеспечивается от двух независимых источников питания. При исчезновении напряжения на одном из источников производится автоматическое переключение на питание нагрузки от второго источника. Независимыми источниками могут быть распределительные устройства двух электростанций или не связанные друг с другом подстанции. Переключение производится автоматическим включением резерва (АВР). При срабатывании этих переключателей время отсутствия напряжения (период, в течение которого нагрузка остается без электропитания) составляет 10—3000 мс. Надежное питание тяговых подстанций, расположенных вдоль магистрали, осуществляется от крупных районных подстанций по линиям электропередачи напряжением 110, 132, 220 кВ и более высокого напряжения. На участке протяженностью 150—200 км допускается перерыв электроснабжения не более чем на одной тяговой подстанции.

Предпочтительным является питание каждой тяговой подстанции от двух независимых источников. При большой протяженности высокоскоростной железнодорожной магистрали (более 400 км) такая схема требует большого количества питающих линий внешнего электроснабжения значительных капитальных затрат. В этих случаях применяется питание тяговых подстанций по двум одноцепным линиям от одного источника питания или по одноцепным либо двухцепным линиям, прокладываемым вдоль электрифицируемой железной дороги, с двусторонним питанием от независимых источников.

Тяговые подстанции через 200—300 км подключаются к линиям электропередачи с заходом на подстанцию и присоединением к сборным шинам — это опорные подстанции. Остальные подстанции на электрифицируемой линии являются промежуточными, расположенными между двумя опорными. В зависимости от уровня напряжения питающих линий может быть от трех до пяти промежуточных подстанций. Промежуточные подстанции включают в

рассечку одной питающей линии — это транзитные подстанции, или подключают отпайками к обеим питающим линиям. Такие подстанции называются отпаечными. Расстояние между тяговыми подстанциями при системе переменного тока составляет 40—80 км, а на постоянном токе — 8—20 км.

Схема подключения тяговых подстанций на конкретной магистрали принимается по условиям обеспечения надежного электроснабжения и эффективной работы системы релейных защит питающих линий. Питающая высоковольтная линия с помощью коммутационной аппаратуры опорных и транзитных тяговых подстанций разделяется на секции, которые отключаются при проведении ремонта. При этом сохраняется электроснабжение подстанций и обеспечивается надежное электрообеспечение высокоскоростной линии.

На тяговых подстанциях устанавливаются силовые трансформаторы, понижающие напряжение до уровня 25 кВ при системе электрической тяги однофазного переменного тока 50 (60) Гц или до уровня, обеспечивающего напряжение в электроподстанционной сети 3 кВ, при системе постоянного тока.

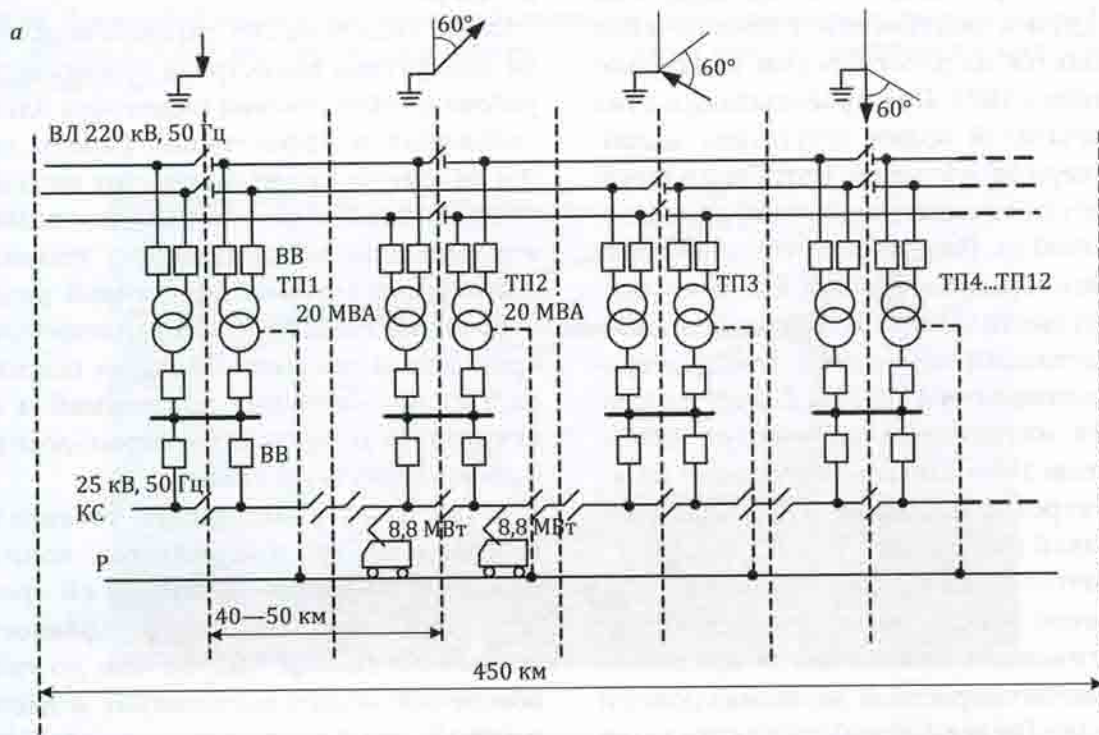
На линиях переменного тока на тяговых подстанциях применяют трехфазные и однофазные главные понижающие трансформаторы. С целью симметрирования нагрузки по фазам питающих линий при однофазном отборе электроэнергии используются специальные симметрирующие трансформаторы, например, по схемам Скотта, Вудбриджа, Р.Р.Мамошина, или выравнивающие схемы подключения силовых трансформаторов тяговых подстанций с чередованием загруженных фаз при подключении к проводам линий электропередачи.

Главные трансформаторы тяговых подстанций в зависимости от удельной мощности электропотребления электрифицированной линии и системы электрической тяги могут иметь мощность от 16 МВ·А до 63 МВ·А и выше. На тяговых подстанциях, как правило, применяется 100-процентное

резервирование установленной мощности главных трансформаторов.

В качестве примера схемы питания тяговых подстанций переменного тока на рис. 10.18 приведен фрагмент схемы высокоскоростной линии Мадрид — Севилья испанских железных дорог.

На рис. 10.19 показан участок железнодорожной магистрали Санкт-Петербург — Москва, электрифицированной по системе постоянного тока 3 кВ и модернизированной для высокоскоростного движения электропоездов Velaro Rus типа «Сапсан» — мощностью 8 МВт.



б



Рис. 10.18. Схема питания подстанций с однофазными трансформаторами от высоковольтной линии ВЛ220 кВ по 60-градусной схеме симметрирования нагрузок: а — фрагмент схемы питания высокоскоростной линии Мадрид — Севилья (Испания); б — общий вид однофазного трансформатора на одной из тяговых подстанций ВСМ Мадрид — Севилья. Испания. 1991 г.

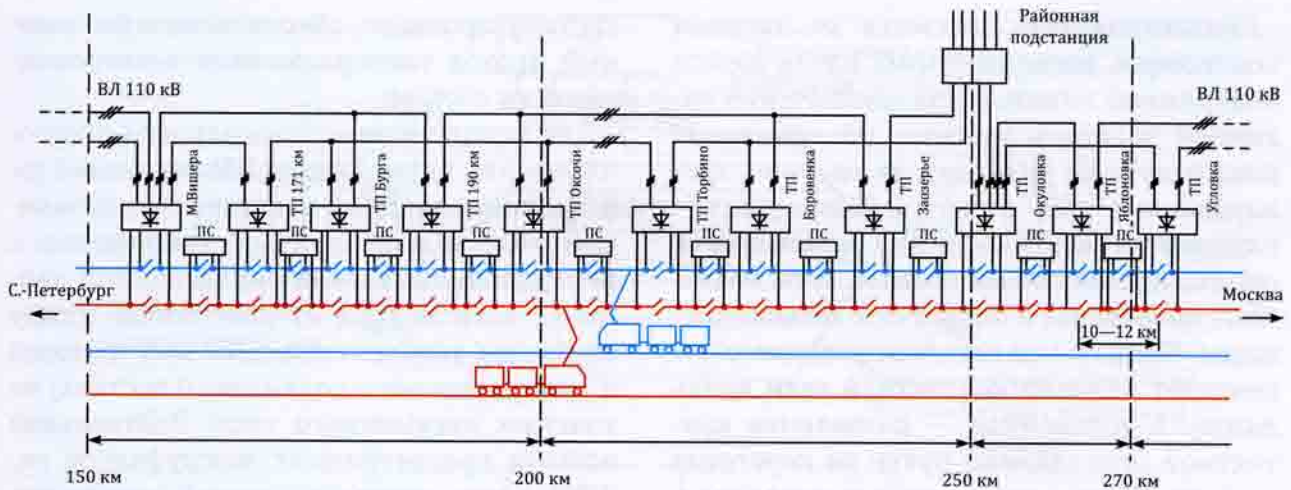


Рис. 10.19. Схема питания тяговых подстанций постоянного тока 3,3 кВ от высоковольтных линий ВЛ 110 кВ, 50 Гц (фрагмент схемы питания высокоскоростной магистрали Санкт-Петербург — Москва на участке 150—270 км). Россия. 2005 г.

Электротяговая сеть является нерезервируемым звеном системы электроснабжения. Именно поэтому к схемам питания электротяговой сети предъявляются повышенные требования. При выборе схемы питания тяговой сети учитываются многие факторы: распределение нагрузки между подстанциями и между отдельными участками сети, значения минимальных токов короткого замыкания, потери напряжения и электроэнергии в тяговой сети и т.д. Электротяговая сеть разделяется на отдельные секции. Основная цель секционирования контактной сети — возможность отключения наименьшего участка (секции) контактной сети при выполнении ремонтно-восстановительных работ или при повреждениях.

Секционирование осуществляется с помощью изолирующего сопряжения (воздушного промежутка) или изолирующих сопряжений с нейтральной вставкой. Питание секций контактной сети осуществляется по схемам раздельной или параллельной работы соседних тяговых подстанций. При раздельной работе контактную сеть примерно посередине межподстанционной зоны разделяют посредством изолирующих сопряжений или нейтральных вставок (в системе однофазного переменного тока), и питание электроподвижного состава на

каждом участке — только от одной подстанции. Две зоны питания влево и вправо от подстанции составляют подстанционную зону. Достоинством такой схемы являются лучшие условия защиты и отсутствие уравнивающих токов контактной сети. Недостатком раздельного питания является возможное ухудшение использования меди контактных подвесок, так как каждый электропоезд получает питание только от одной подстанции. На высокоскоростных двухпутных линиях с пакетным графиком на каждой межподстанционной зоне находятся в движении, как правило, два поезда, поэтому этот недостаток практически отсутствует.

При параллельной работе смежных подстанций осуществляется двустороннее питание секций контактной сети, и любая тяговая нагрузка получает питание от двух подстанций. Это в определенной степени повышает надежность питания электротяговой сети, ведет к лучшему использованию медных контактных подвесок. Вместе с тем, при двустороннем питании появляются уравнивающие токи контактной сети, что приводит к дополнительным потерям напряжения и энергии. Особенно значительными становятся уравнивающие токи при автономном регулировании напряжения на тяговых подстанциях.

Контактная сеть питается от тяговых подстанций, расположенных вдоль железнодорожной линии, и для обеспечения надежной работы и удобства обслуживания разделяется на участки, как правило, изолированные друг от друга. Такие участки называются секциями, а само разделение — секционированием контактной сети. Различают продольное и поперечное секционирование. Продольное секционирование обеспечивает деление контактной сети вдоль линии, а поперечное — разделение контактной сети главных путей на перегонах и на станциях, а также прочих параллельных путей станции.

Продольное секционирование выполняется у каждой тяговой подстанции и у каждого поста секционирования; контактная сеть перегонов отделяется от контактной сети станций. Контактная сеть парка или группы путей станции выделяется в отдельные секции; в отдельные секции выделяют также контактную сеть в пределах крупных искусственных сооружений (тоннели, мосты).

Поперечное секционирование осуществляют на главных путях перегонов и станций, в парках или группах путей более пяти; в отдельные секции выделяют контактные сети каждого из погрузочно-разгрузочных путей; путей, на которых производят заправку пассажирских составов с крыш вагонов; путей осмотра крышевого оборудования подвижного состава, отстоя электроподвижного состава, путей электродепо.

Провода контактной подвески по длине электрифицированной линии механически разделяются на самостоятельные участки длиной 1,2 км с ответвлением по концам на боковую сторону пути с закреплением проводов на анкерных опорах путем жесткого крепления или через компенсаторы температурного удлинения проводов. Такие участки называются анкерными участками. Деление на автономные анкерные участки обеспечивает повышение эксплуатационной надежности и создание условий для технического обслуживания и ремонта контактной сети. Анкерные участки посредством неизолирующих или изолирующих сопряжений образуют непрерывную

систему проводов, обеспечивающую плавный проход токоприемников электроподвижного состава.

Для осуществления продольного секционирования применяются изолирующие сопряжения анкерных участков на постоянном токе и изолирующие сопряжения с нейтральной вставкой определенной длины (в зависимости от расстояния между крайними токоприемниками электровазона и моторвагонного подвижного состава) на участках переменного тока. Нейтральная вставка предотвращает междуфазное короткое замыкание двух секций, питающихся от разных фаз энергосистемы. Для поперечного секционирования применяются секционные изоляторы различных конструкций. На *рис. 10.20* показаны примеры схем питания и секционирования на двухпутных участках, электрифицированных по системе постоянного и однофазного переменного тока.

На станциях с тяговыми подстанциями переменного тока, как правило, выполняется разделение питания по разным фазам. Для предотвращения междуфазного короткого замыкания при проходе токоприемников, с одной стороны станции устанавливается два изолирующих сопряжения с нейтральной вставкой. С другой стороны станции монтируется одно изолирующее сопряжение. Зону сопряжения с нейтральной вставкой поезда проходят по инерции с отключением тока двигателей.

При высокоскоростном движении вследствие периодического прохода нейтральных вставок происходит частое чередование движения под нагрузкой, движением по инерции, что снижает качество энергообеспечения и выдвигает требование применения специальных устройств автоматического переключения, срабатывающих при переходе поезда с одной секции контактной сети на другую без отключения тока двигателей.

Пункты, в которых происходят переключения секций, располагаются в зоне нейтральной вставки. Эти пункты называются также постами секционирования. На *рис. 10.21* приведена схема и алгоритм действия поста секционирования у нейтральной

вставки, применяемая на высокоскоростных магистралях Синкансен в Японии.

Стыкование линий, электрифицированных на постоянном и переменном токе, на российских железных дорогах осуществляют в большинстве случаев посредством станций стыкования. В контактной сети этих станций выделяют соответствующие секции, в которые можно подавать напряжение как постоянного, так и переменного тока. Станции стыкования могут быть с последовательным и параллельным расположением приемо-отправочных парков.

При любой схеме станции обеспечивается прибытие поездов с электровозами одной системы тока и отправление этих же поездов с тех же путей с электровозами другой системы. На рис. 10.22 приведена упрощенная схема питания и секционирования станции стыкования параллельного типа. На данной станции стыкования предусмотрено 19 переключаемых секций, питание которых осуществляется через два пункта группировки, оснащенных переключателями двух систем тока.

Станции стыкования имеют очень высокую строительную стоимость и сложны в эксплуатации. Поэтому в отдельных случаях для стыкования двух систем тока используют электроподвижной состав двойного питания, работающий от сети как пе-

ременного, так и постоянного тока. На некоторых линиях высокоскоростного движения используется электроподвижной состав двойного питания, а также трех- и четырехсистемные виды электроподвижного состава. На станциях стыкования контактная сеть главных путей монтируется с изолирующими сопряжениями и нейтральной вставкой, а на боковых путях устанавливаются секционные изоляторы с нейтральными вставками.

Рельсовая сеть, выполняющая функцию электропроводящей среды для обратного тока, находится в зоне верхнего строения пути и, вследствие слабой электрической изоляции, может вызывать отвлечение тока в землю. Это приводит к появлению блуждающих токов, которые имеют чрезвычайно разнообразные пути по земле, металлическим частям подземных сооружений, оболочкам кабелей, различным трубам и т.д. В местах выхода тока из подземного сооружения происходит электролиз (анодная зона), вызывающий на линиях постоянного тока с положительной полярностью коррозию сооружения.

Для снижения блуждающих токов необходимо увеличивать переходное сопротивление между рельсами и землей и снижать сопротивление самой рельсовой сети. Следует применять щебеночный балласт, же-

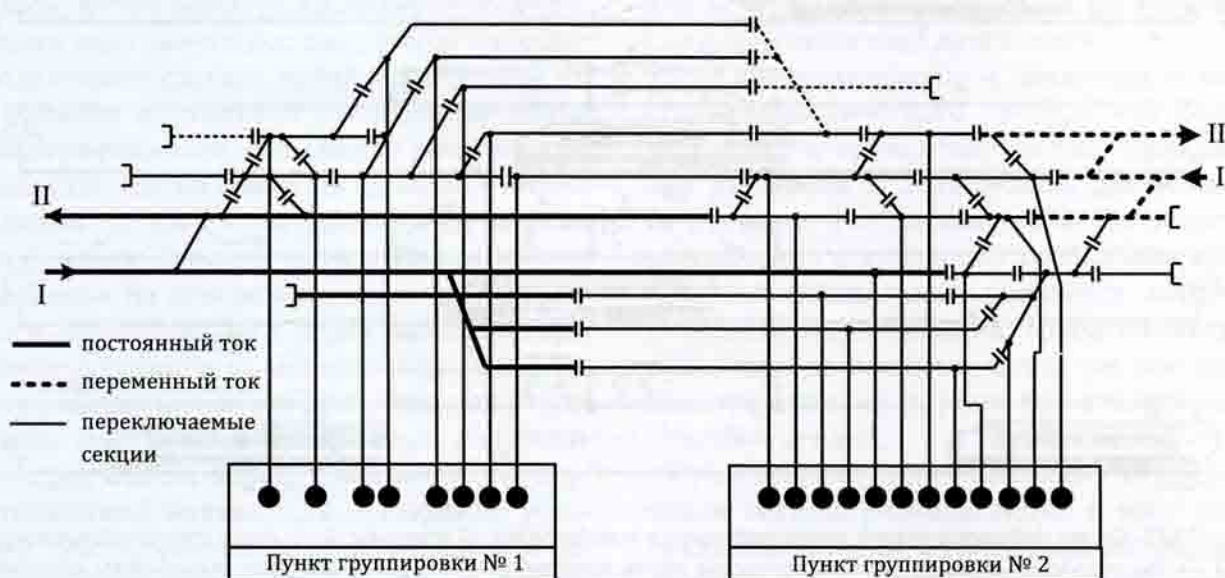


Рис. 10.22. Упрощенная схема станции стыкования параллельного типа

лезобетонные шпалы, укладывать рельсы без касания их подошв с просветом не менее 3 см между балластом и рельсами, не допускать даже случайного соприкосновения рельсов с какими-либо подземными металлическими сооружениями. Для уменьшения сопротивления рельсовой сети устанавливают стыковые, междурельсовые и междупутные электрические соединители.

10.8. Тяговые подстанции и линейные устройства

Проектирование тяговых подстанций начинается с определения мест секционирования электротяговой сети, ограничивающих зону питания каждой подстанции, точек подключения их к питающей сети высокого напряжения. При этом учитываются: данные тягового и электрического расчетов для заданных параметров движения поездов; наличие и резервы мощности источника высоковольтного питания в точках подключения; мощности короткого замыкания для проверки термической и динамической устойчивости оборудования; допустимые значения коэффициентов асимметрии токов и напряжений; содержания высших гармонических; порог снижения реактивной мощности; допустимые отклонения питающего напряжения; местонахождение и характеристики кабелей линий связи. На основе расчетов определяются электрические параметры тяговых подстанций (мощность, ток и количество преобразовательного оборудования), их размещение и расположение постов секционирования и пунктов параллельного соединения.

На рис. 10.23, для примера, показана схема размещения тяговых подстанций и линейных устройств высокоскоростной (300 км/ч) железнодорожной линии Париж — Кале французских железных дорог. На линии, протяженностью примерно 320 км, электрифицированной по сис-

теме 2×25 кВ, 50 Гц, размещены 6 тяговых подстанций, 7 постов секционирования и 17 автотрансформаторных пунктов. Эта международная линия имеет продолжение в Бельгию и через Ла-Манш в тоннеле до Лондона.

Тяговые подстанции системы электропитания 2×25 кВ, 50 Гц выполняются, как правило, с однофазными стандартными силовыми трансформаторами простой конструкции, вторичные обмотки которых имеют выведенную среднюю точку, соединяемую с рельсовой сетью, а начало и конец с контактной сетью и питающим проводом (рис. 10.24).

Схема главных соединений тяговой подстанции позволяет осуществлять в нормальном режиме питание левого и правого плеча от отдельных однофазных силовых трансформаторов. Мощность каждого из них (40—63 МВ·А) обеспечивает номинальную нагрузку подстанции. Трансформаторы при этом могут работать параллельно от одной или от двух фаз по схеме «V». В последнем случае в зоне тяговой подстанции включается устройство изолирующего сопряжения с нейтральной вставкой. В вынужденном режиме при выведении одного трансформатора из работы с помощью обходных разъединителей P1, P2 собирается схема питания левого и правого плеча подстанции от одного трансформатора.

На подстанциях переменного тока 1×25 кВ, 50 Гц высокоскоростных линий предпочтительна схема с тремя однофазными трансформаторами, один из которых является резервным.

Трехфазные силовые трансформаторы со схемой соединения обмоток звезда-треугольник, применяемые на российских железных дорогах, на высокоскоростных линиях практически не используются из-за сложности и громоздкости электротехнического оборудования.

На рис. 10.25 приведены общий вид тяговой подстанции ВСМ Мадрид — Барселона, которая в силу климатических условий размещена на открытом воздухе, за исключением блока управления в виде контейнерной конструкции.

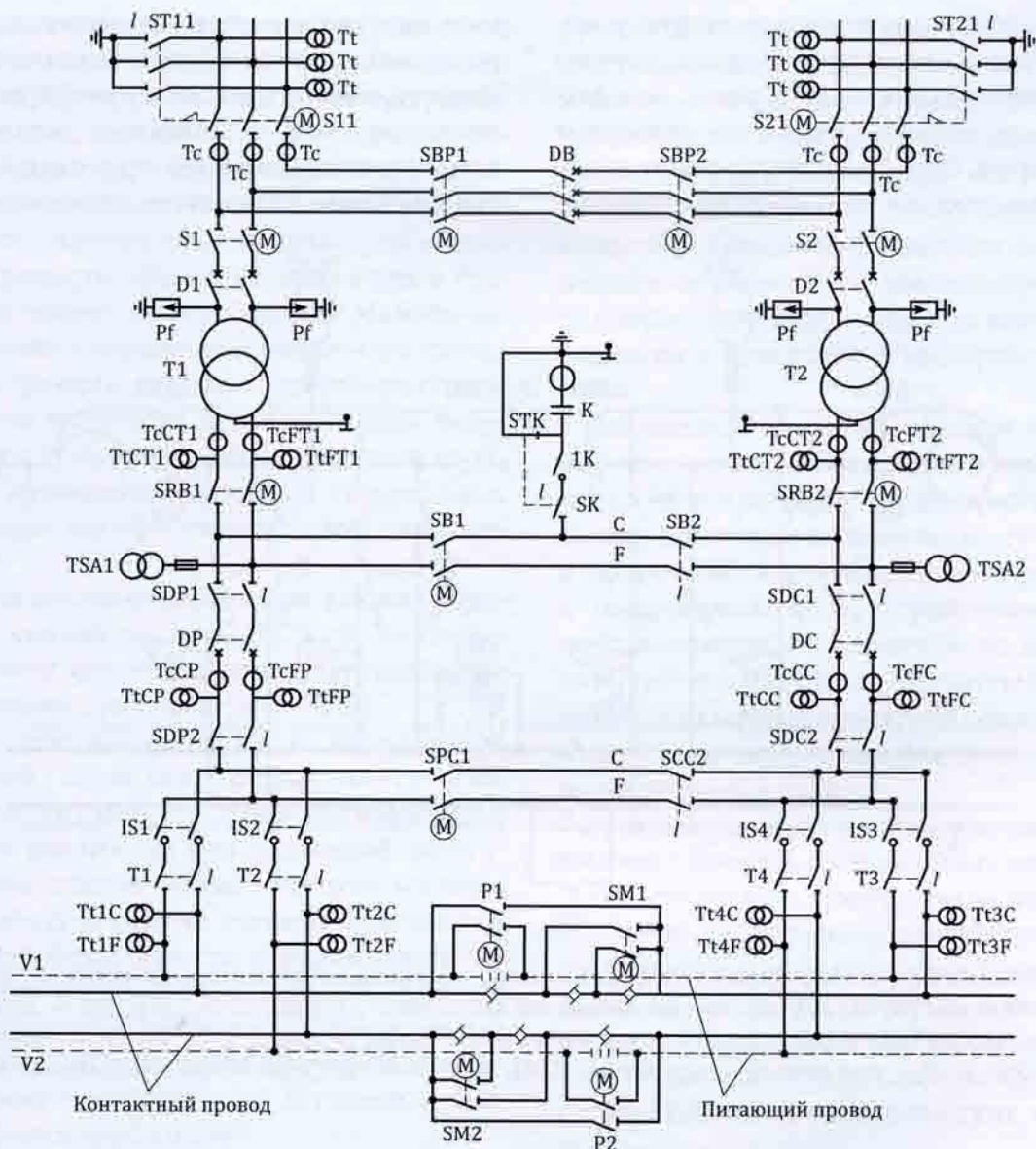


Рис. 10.24. Схема транзитной тяговой подстанции 2×25 кВ с однофазными силовыми трансформаторами (SNCF—Франция): T1, T2 — силовые однофазные трансформаторы; D1, D2, DB — высоковольтные выключатели питающего напряжения; DP, DC — выключатели на вторичной стороне силового трансформатора; IS1, IS2, IS3, IS4 — выключатели нагрузки питающих линий электротяговой сети; S11, S21, S1, S2 и другие — разъединители; K — установка поперечной компенсации реактивной мощности; TSA1, TSA2 — трансформаторы собственных нужд; Pf — разрядники; Tc — измерительные трансформаторы тока; Tt — измерительные трансформаторы напряжения



Рис. 10.25. Общий вид одной из тяговых подстанций на ВСМ Мадрид — Барселона. Испания. 2008 г.

Для снижения асимметрии загрузки питающей сети по фазам в ряде случаев применяется схема Скотта, основным достоинством которой считается снижение асимметрии. Однако практически этот эффект проявляется только в режиме рав-

ных нагрузок по плечам питания, что в реальных условиях почти не происходит. Изготовление силовых трансформаторов нестандартного исполнения установленной мощностью 60 МВ·А приводит к таким увеличениям стоимости производства и

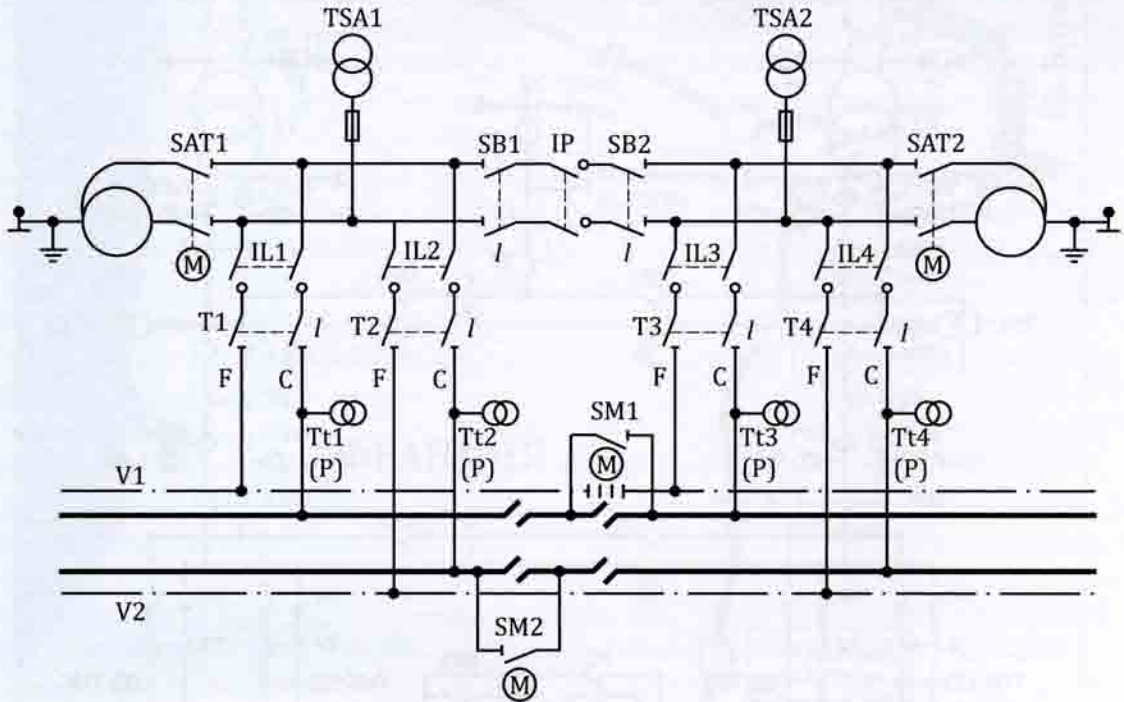


Рис. 10.26. Схема поста секционирования, совмещенного с автотрансформаторным пунктом, высокоскоростной линии (Франция), электрифицированной по системе 2×25 кВ, 50 Гц: AT1, AT2 — автотрансформаторы 50/25 кВ; IL1, IL2, IL3, IL4 — выключатели питающих линий; T1, T2, T3, T4 — линейные разъединители; IP — выключатель перемычки; TSA1, TSA2 — трансформаторы собственных нужд

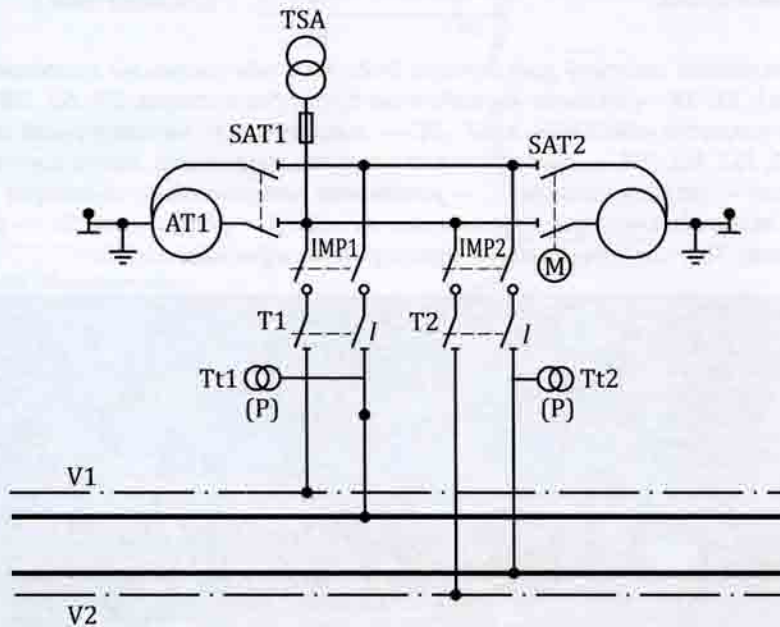


Рис. 10.27. Схема пункта параллельного соединения, совмещенного с автотрансформаторным пунктом, высокоскоростной линии 2×25 кВ, 50 Гц. Франция

монтажа, которые сводят на нет указанное достоинство. Тем не менее, по разным причинам в Японии и Южной Корее продолжается применяться схема Скотта и ее модифицированный вариант — схема Вудбриджа. Следует отметить, что продолжают разрабатываться силовых трансформаторов с симметрирующим эффектом, например, в России по схеме профессора Р.Р. Мамошина. Но в любом варианте специальные схемы и конструкции силовых трансформаторов большой мощности для подстанций переменного тока имеют более высокую стоимость жизненного цикла по сравнению с типовыми однофазными трансформаторами.

Посты секционирования на высокоскоростных линиях системы 2×25 кВ, 50 Гц выполняются совмещенными с автотрансформаторными пунктами (рис. 10.26).

Пост секционирования с нейтральной вставкой позволяет осуществлять консольное питание на межподстанционной зоне от различных фаз питающей энергосистемы, а также осуществлять параллельную работу соседних тяговых подстанций от одной фазы. Пункты параллельного соединения в системе 2×25 кВ, 50 Гц также совмещаются с автотрансформаторными пунктами, но в зоне его изолирующие сопращения с нейтральной вставкой не используются (рис. 10.27).

10.9. Контактная сеть

Контактная сеть является ответственным устройством высокоскоростной электрифицированной линии. Электрическая сеть должна обеспечивать устойчивую передачу электроэнергии и безыскровый токосъем, высокую безопасность и полностью исключать нарушение безопасности движения. Устройства контактной сети нерезервируемы, поэтому при проектировании и сооружении для обеспечения надежности предусматриваются специальные провода и изоляторы, рациональные конст-

рукции и схемы, высокопрочные и износостойкие материалы, принимаются повышенные коэффициенты запаса прочности.

Контактная сеть включает контактную подвеску, поддерживающие конструкции, опорные конструкции, коммутационные и защитные аппараты. На высокоскоростных линиях применяются компенсированные одинарные и двойные цепные контактные подвески с простыми и рессорными струнами.

Контактная подвеска обеспечивает наилучшие условия токосъема в том случае, когда токоприемник подвижного состава при движении по контактному проводу в пролете между точками его крепления к поддерживающим устройствам, сохраняет неизменное положение по высоте, а нажатие его на провод остается постоянным. Для выполнения этого режима взаимодействия токоприемника и контактной подвески необходимо:

- минимизировать стрелу провеса контактного провода и увеличивать массу подвески, связанную с контактным проводом;
- обеспечивать равноэластичную систему подвески контактных проводов, при которой во всех точках отжатие контактного провода токоприемником одинаково;
- стремиться к уменьшению количества сосредоточенных масс и жестких точек на контактном проводе;
- обеспечивать стабильное пространственное положение контактных проводов при ветровой нагрузке;

— согласовывать по динамическим параметрам контактную подвеску и токоприемник для обеспечения безыскрового токосъема и уменьшения износа элементов токоприемника и проводов контактной сети при высокой скорости их взаимодействия.

Основные конструктивные узлы и элементы контактной сети постоянного тока 3,0 кВ в зоне анкерной опоры компенсированной одинарной цепной подвески с рессорной струной показаны на рис. 10.28. Конструкции контактной сети однофазного переменного тока 2×25 кВ, 50 Гц высокоскоростных линий приведена на рис. 10.29,

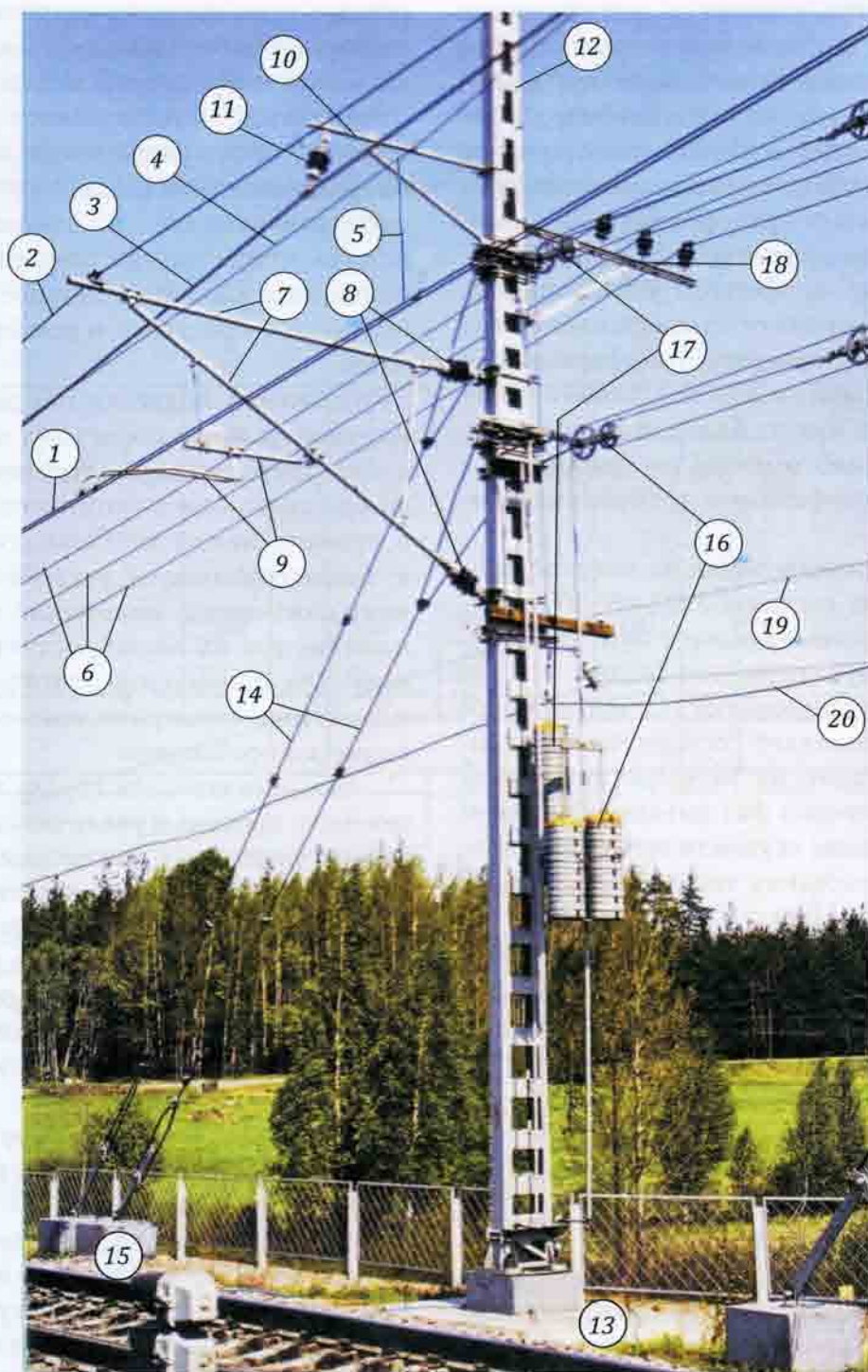


Рис. 10.28. Общий вид высокоскоростной контактной сети КС-200 для линий постоянного тока 3,0 кВ российских железных дорог: 1 — контактный провод; 2 — несущий трос; 3 — усиливающий провод; 4 — рессорная струна; 5 — гибкая токопроводящая струна; 6 — провода продольной трехфазной линии 10 кВ, 50 Гц; 7 — изолированная консоль; 8 — стержневые изоляторы; 9 — сочлененный фиксатор; 10 — кронштейн; 11 — подвесной изолятор; 12 — металлическая опора; 13 — фундамент металлической опоры; 14 — оттяжки; 15 — анкеры; 16 — устройство автоматического натяжения контактных проводов (грузовой блочно-полиспастный компенсатор); 17 — устройство автоматического натяжения несущего троса; 18 — кронштейн и штыревые изоляторы линии продольного электроснабжения; 19 — волновод поездной радиосвязи; 20 — волоконно-оптический кабель связи (ВОЛС). Россия. 2005 г.

а



б



Рис. 10.29. Контактная сеть однофазного переменного тока 2×25 кВ, 50 Гц: а — двухпутный участок с несущими конструкциями с жесткой поперечной; б — зона сопряжения анкерных участков. 2005 г.

10.30. Контактная подвеска на ВСМ в районе воздушной стрелки показана на рис. 10.31. На рис. 10.32, а приведена фотография металлической анкерной опоры рамного типа в зоне горловины станции двухпутной высокоскоростной линии Рим — Неаполь, электрифицированной по системе переменного тока 2×25 кВ, 50 Гц. Конструкция оконечной металлической опоры компенсированной контактной подвески с грузовыми компенсаторами барабанного типа показана на рис. 10.32, б.

Из приведенных на рисунках примеров конструктивного решения контактной сети для высокоскоростных железных дорог следует, что принципиальные исполнения

контактной сети системы постоянного тока напряжением 3,0 кВ и однофазного переменного тока 2×25 кВ, 50 Гц совпадают. В то же время конструктивные модификации имеют существенные отличия. В табл. 10.4, для примера, приведены основные конструктивные параметры характерных контактных сетей однофазного переменного и постоянного тока. Данные таблицы позволяют отметить тенденции изменения параметров в зависимости от значения конструкционной скорости и системы эксплуатации.

Контактная подвеска переменного тока 25 кВ крепится к опорным конструкциям посредством изолированных консолей (рис.

а



б



Рис. 10.30. Контактная сеть: а — двухпутная ВСМ с максимальной скоростью движения 350 км/ч. Испания; б — ВСМ с максимальной скоростью движения 300 км/ч. Италия. 2010 г.

10.33). Конструктивное исполнение консолей должно предотвращать «раскрытие» и «опрокидывание» фиксатора.

Контактные провода в соответствии с ГОСТ 2584—75 изготавливаются различных марок: МФ — медный фасонный; МФО — медный фасонный овалный; НЛФ — низко-

легированный фасонный; НЛФО — низколегированный фасонный овалный; Бр Ф — бронзовый фасонный, БрФО — бронзовый фасонный овалный. Профили контактных проводов показаны на рис. 10.34. Характеристики контактных проводов приведены в табл. 10.5.



Рис. 10.31. Контактная подвеска на ВСМ с максимальной скоростью движения 300 км/ч в районе воздушной стрелки. Франция. 2000 г.

Высокоскоростные контактные подвески имеют повышенные натяжения проводов. Прочность проводов на разрыв таких подвесок должна быть увеличена. Поэтому находят применение низколегированные контактные провода. В качестве легирующих присадок используется в небольшом количестве серебро (Ag), магний (Mg), цирконий (Cr), олово (Sn) и другие элементы. Для низколегированных проводов применяются условные обозначения с отражением в процентах (%) химического состава присадок. Например, НЛОл 0,04 — низколегированный с содержанием олова около 0,03—0,06 %. В иностранной литературе используется обозначение, имеющее структуру вида CuAg 0,1 — медный с присадкой серебра 0,1 % или CuMg 0,6 — медный с присадкой магния 0,6 %.

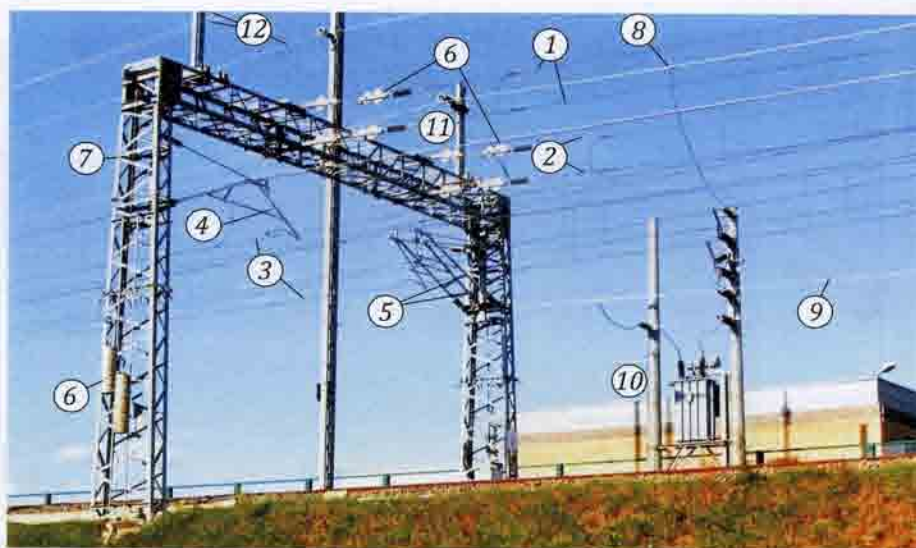
В настоящее время все большее применение находят высокопрочные бронзовые

провода. Их условно обозначают по следующей буквенно-цифровой системе, например, БрОл0,2Ф120 — бронзовый с присадкой 0,2% олова, фасонный сечением 120 мм².

Легированные провода, обладая большей прочностью на разрыв и повышенной износостойкостью, имеют более высокое удельное электрическое сопротивление. Поэтому их применение в высокоскоростной электротяговой сети постоянного тока ограничено. Наоборот, для системы однофазного тока, где токовые нагрузки на порядок ниже, применение легированных проводов предпочтительно.

Гарантированный срок службы контактных проводов различен в зависимости от материала: для медных 5 лет, низколегированных 6 лет, бронзовых 10 лет. Этот срок службы зависит от количества проходов токоприемника (примерно 150 млн проходов).

а



б



Рис. 10.32. Устройство контактной сети системы 2×25 кВ, 50 Гц: а — итальянские ВСМ: 1 — анкеруемые контактный провод и несущий трос нечетного пути; 2 — то же четного пути; 3 — рабочие ветви контактной подвески нечетного и четного путей; 4 — изолированная консоль четного пути; 5 — изолированные консоли рабочей и анкеруемой ветвей контактной подвески, консоль для организации воздушной стрелки; 6 — устройство автоматического натяжения контактных проводов и несущих тросов (блочно-полиспастные грузовые компенсаторы); 7 — опорные конструкции рамного типа с жесткой поперечиной; 8 — питающий провод; 9 — обратный провод; 10 — трансформаторная подстанция нетяговых потребителей; 11 — надставки для крепления питающих проводов 2×25 кВ; 12 — питающие (фидерные) линии 2×25 кВ; б — испанские ВСМ — анкерная опора контактной подвески с грузовым компенсатором барабанного типа на тупиковом станционном приеме-отправочного пути. Испания. ВСМ Мадрид — Толедо. 2012 г.

Таблица 10.4

Сравнительные параметры контактных сетей высокоскоростных линий

Характеризующие параметры	Система однофазного переменного тока		Система постоянного тока
	Юго-Восточная линия TGV	Атлантическая линия TGV	Линия С.Петербург — Москва
Напряжение, кВ	2×25	2×25	3,0
Конструктивная скорость, км/ч	280	300	200
Напряжение проводов, кН	контактный провод	15,0	20,0
	несущий трос	14,0	14,0
Материал проводов	контактный провод	Cu 120 мм ²	Cu 150 мм ²
	несущий трос	Bz 65 мм ²	Bz 65 мм ²
Провес контактного провода в пролете	1/1000	1/1000	
Высота подвеса контактного провода на опоре, м	4,95	5,08	
Тип подвески в опорной точке (простая, рессорная Y-типа)	Y-типа	простая	Y-типа
Конструктивная высота подвески, м	1,4	1,4	1,8
Струны	Bz 12 мм ²	Bz 12 мм ²	
Максимальная высота подъема фиксатора, мм	240	400	
Максимальный пролет между опорами, м	63,0	63,0	65
Число устройств автоматического натяжения проводов	2	2	2
Эластичность (для длины пролета 63 м), мм/Н	в границах опоры	0,4	0,21
	в середине пролета	0,57	0,48
Сечения контактной подвески в медном эквиваленте, мм ²	156,9	186,3	360
Масса контактной подвески на единицу длины, кг/м	1,83	1,99	

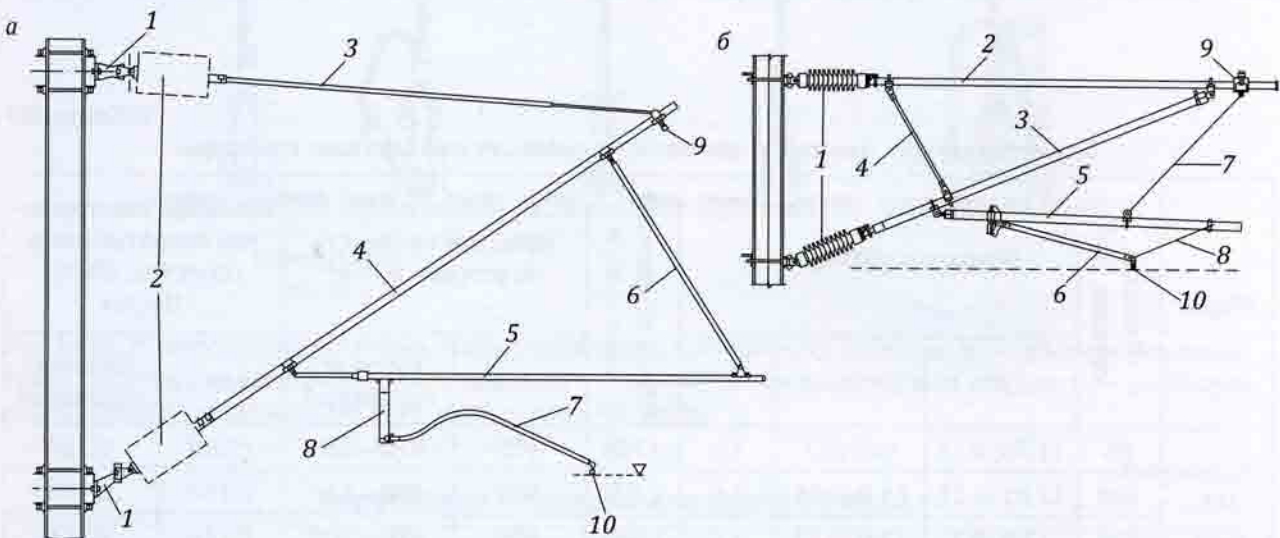


Рис. 10.33. Изолированная консоль: а — с распоркой фиксатора (1 — скоба; 2 — изолятор; 3 — тяга; 4 — кронштейн; 5 — основной фиксатор; 6 — распорка фиксатора; 7 — дополнительный фиксатор; 8 — стойка фиксатора; 9 — несущий трос; 10 — контактный провод); б — с поддерживающим тросом фиксатора (1 — изолятор; 2 — тяга; 3 — кронштейн; 4 — подкос; 5 — основной фиксатор; 6 — дополнительный фиксатор; 7, 8 — поддерживающие (ограничительные) тросы; 9 — несущий трос; 10 — контактный провод)

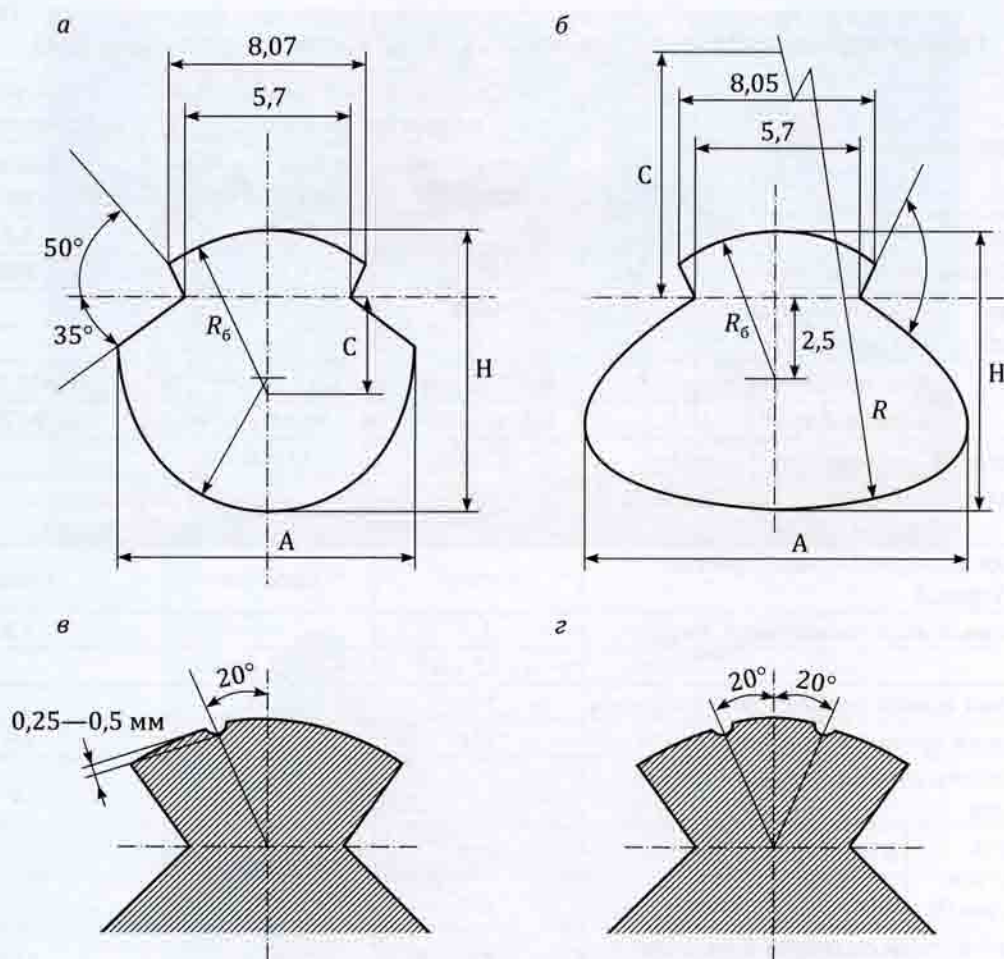


Рис. 10.34. Профили контактных проводов: а — фасонный; б — фасонный овальный; в — с расположением канавки на бронзовом проводе; г — с расположением канавки на низколегированном проводе

Таблица 10.5

Характеристики медных и низколегированных контактных проводов

Марка	Площадь сечения, мм ²	Основные размеры, мм			Масса на единицу длины, кг/м	Удельная прочность на разрыв, Н/мм ²		Удельное электрическое сопротивление (пост.ток, 20 °С), Ом/км	
		А	Н	С		Медный	Низколегированный	Медные	Низколегированный
МФ, НЛФ	85	11,76±0,22	10,8±0,1	1,3	0,755	405	470—500	0,208	0,218
	100	12,81±0,25	11,8±0,11	1,8	0,890	405	470—500	0,176	0,185
	120	13,9±0,3	12,9±0,12	2,4	1,068	405	470—500	0,146	0,154
	150	15,5±0,32	14,5±0,13	3,2	1,335	405	470—500	0,117	0,123
МФО, НЛФО	100	14,92±0,3	10,5±0,1	13	0,890	405	470—500	0,176	0,185
	120	16,1±0,32	11,5±0,11	17	1,068	405	470—500	0,146	0,185
	150	18,86±0,35	12,50±0,12	27	1,395	405	470—500	0,117	0,185

В качестве несущих проводов цепных подвесок применяют многопроволочные медные, биметаллические, бронзовые провода. В качестве усиливающих, питающих и отсасывающих проводов применяют многопроволочные алюминиевые и медные провода.

Рессорные тросы высокоскоростных подвесок выполняют из бронзового троса сечением 25 мм^2 и выше. Струны, соединяющие несущий трос и контактные провода, могут изготавливаться звеньевыми из биметаллической проволоки диаметром 4 мм, гибкими из многожильного медного или бронзового провода сечением $10\text{--}16 \text{ мм}^2$ или петлевыми. Применяются также в ряде случаев капроновые или лавсановые канаты диаметром $10\text{--}11 \text{ мм}$ для рессорных струн и $3\text{--}6 \text{ мм}$ для простых струн. На рис. 10.35 приведены некоторые типы

гибких струн, применяемых для высокоскоростных контактных подвесок.

Изоляция токоведущих элементов от частей, находящихся под потенциалом земли, и отдельных элементов, находящихся под напряжением разных фаз, между собой служат тарельчатые и стержневые изоляторы. По назначению изоляторы могут быть подвесными (П), фиксаторными (Ф), секционирующими (С), консольными (К) и натяжными (Н).

Для изоляторов электротяговой сети применяется фарфор, стекло и полимеры. Основные электрические и механические параметры изоляторов приведены в табл. 10.6 и табл. 10.7 соответственно для фарфоровых и композитных (полимерных) материалов.

Фарфоровые изоляторы обладают высокой электрической прочностью, но механи-

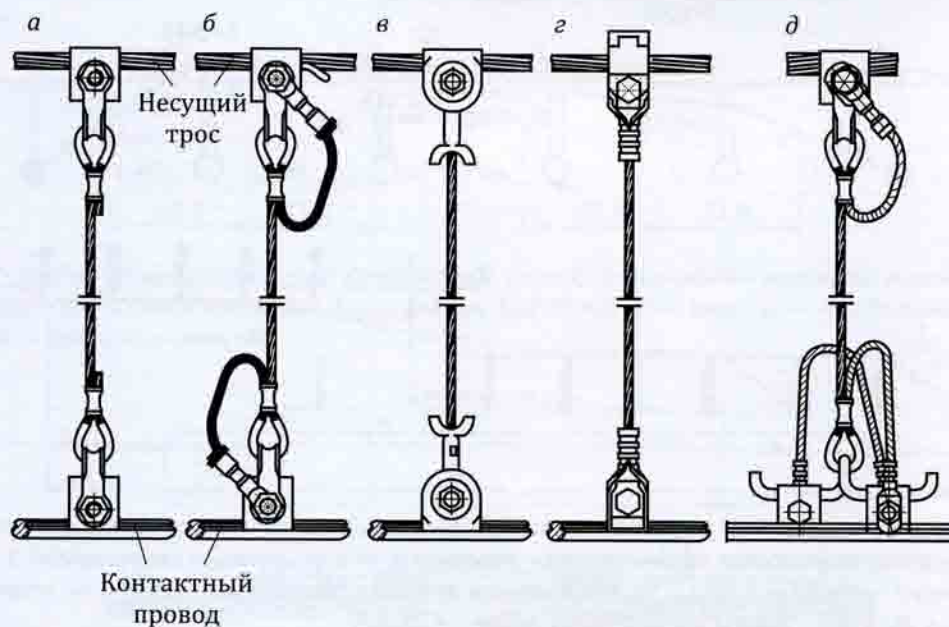


Рис. 10.35. Некоторые типы струн высокоскоростных контактных подвесок: а — обычная нетоковедущая струна; б — токоведущая струна; в, г — нерегулируемая токоведущая струна; д — регулируемая токоведущая струна для двух контактных проводов

Таблица 10.6

Фарфоровые изоляторы для линий 25 кВ 50 Гц

Тип изолятора	Применение	Параметры	
		электрические	механические
Подвесной, стержневой	Контактная сеть Re 250...330	Длина изолирующей поверхности 760 мм, 25 кВ	Разрушающая нагрузка 130 кН, рабочая нагрузка 27 кН
Консольный	Контактная сеть Re 250...330	Длина изолирующей поверхности 760 мм, 25 кВ	Рабочий изгибающий момент 2,8 кН·м

Полимерные изоляторы для линий переменного тока 25 кВ, 50 Гц и постоянного тока 3 кВ

Тип изолятора	Применение	Параметры	
		электрические	механические
Подвесной, стержневой	Контактная сеть	Длина изолирующей поверхности 1230 мм при напряжении 25 кВ	SML 135 кН
Консольный	То же	Длина изолирующей поверхности 1215 мм при напряжении 25 кВ	MDCL 1,9 кН STL 60 кН
Подвесной, стержневой	—	Длина изолирующей поверхности 320 мм при напряжении 3 кВ	SML 90 кН OML 30 кН

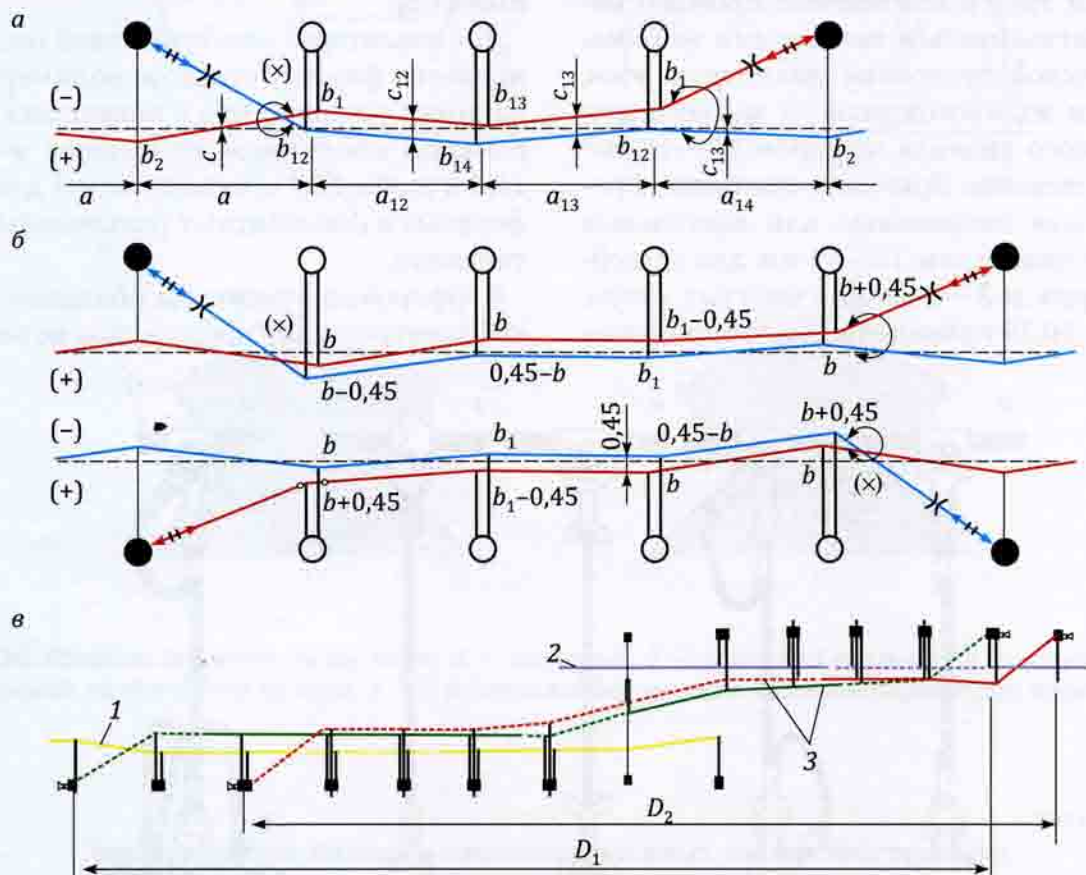


Рис. 10.36. Сопряжение анкерных участков контактной сети: а — четырехпролетное сопряжение; б — пятипролетное сопряжение на двухпутном участке; в — изолирующее сопряжение: 1 — контактная подвеска основного пути; 2 — контактная подвеска отходящего пути; 3 — контактные подвески съезда; D_1 и D_2 — длины контактных подвесок съезда

ческая прочность, особенно при работе на растяжение и изгиб, часто оказывается недостаточной. Поэтому, как правило, на высокоскоростных линиях применяют изоляторы нового поколения из полимерных материалов.

Сопряжения анкерных участков контактной сети высокоскоростных линий выполняются с целью обеспечения плавности перехода токоприемника с одной контактной подвески на другую в трех, четырех и пяти

пролетах между смежными опорами (рис. 10.36).

В зонах сопряжения анкерных участков, питающихся от разных фаз, применяются изолирующие сопряжения с нейтральной вставкой (рис. 10.37).

Длина зоны нейтральной вставки определяется расстоянием между крайними токоприемниками обращающихся электропоездов (рис. 10.38).

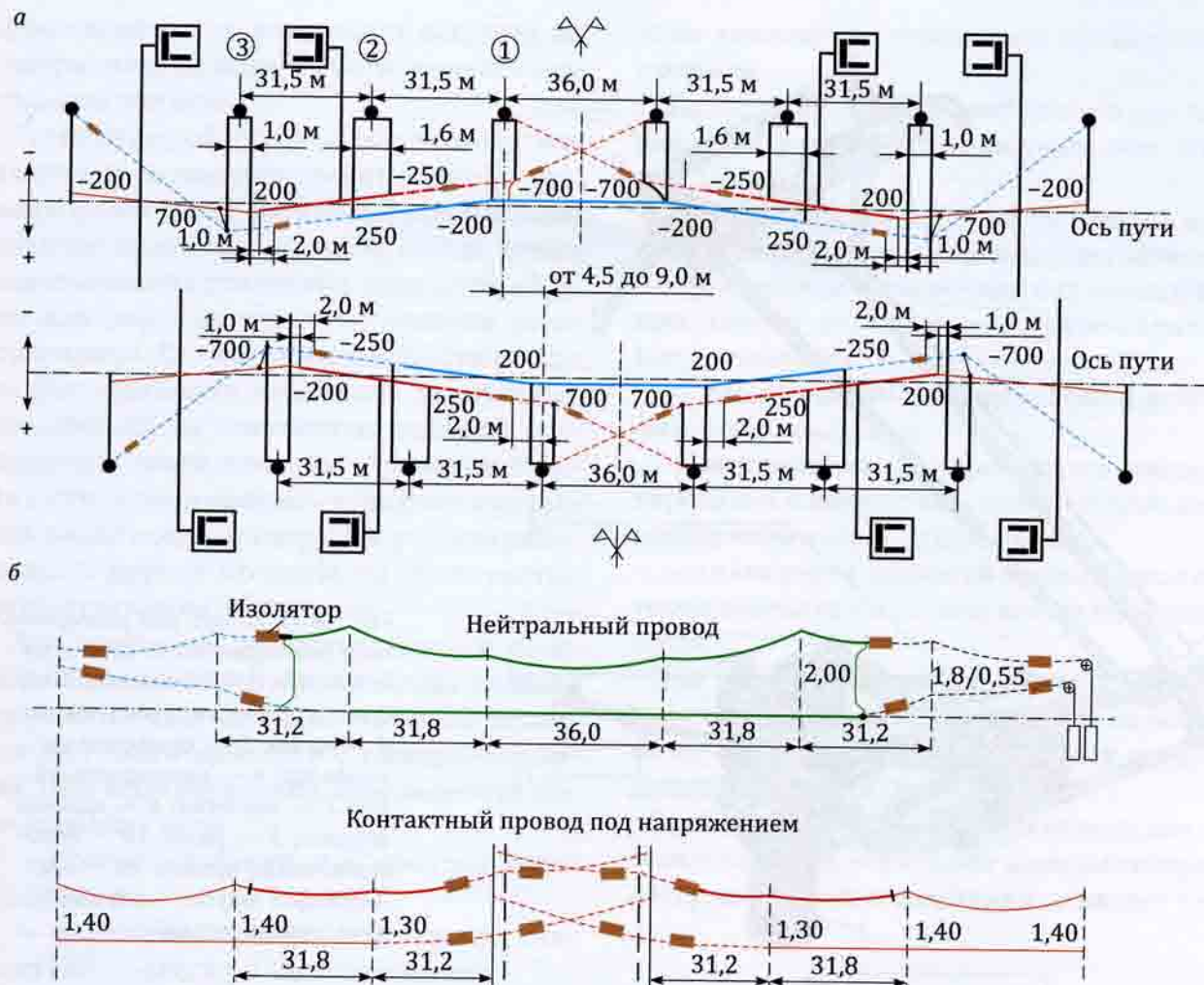


Рис. 10.37. Изолирующее сопряжение контактной сети с нейтральной вставкой переменного тока французских скоростных железных дорог (линия TGV-Nord): а — план; б — продольный профиль (расстояния указаны в метрах)



Рис. 10.38. Условие для определения длины зоны нейтральной вставки

10.10. Обеспечение надежного токосъема при высокоскоростном движении

Надежность токосъема определяется динамическими показателями качества взаимодействия токоприемников (рис. 10.39) и контактных подвесок. Свойства токопри-

емника определяются статической характеристикой, приведенной массой, коэффициентами сухого, вязкого трения, аэродинамической характеристикой. Статическая характеристика отражает зависимость активного F_1 и пассивного F_2 статических нажатий от положения полоза по высоте над уровнем опущенного токоприемника. Сила F_1 представляет собой приведенное к поло-

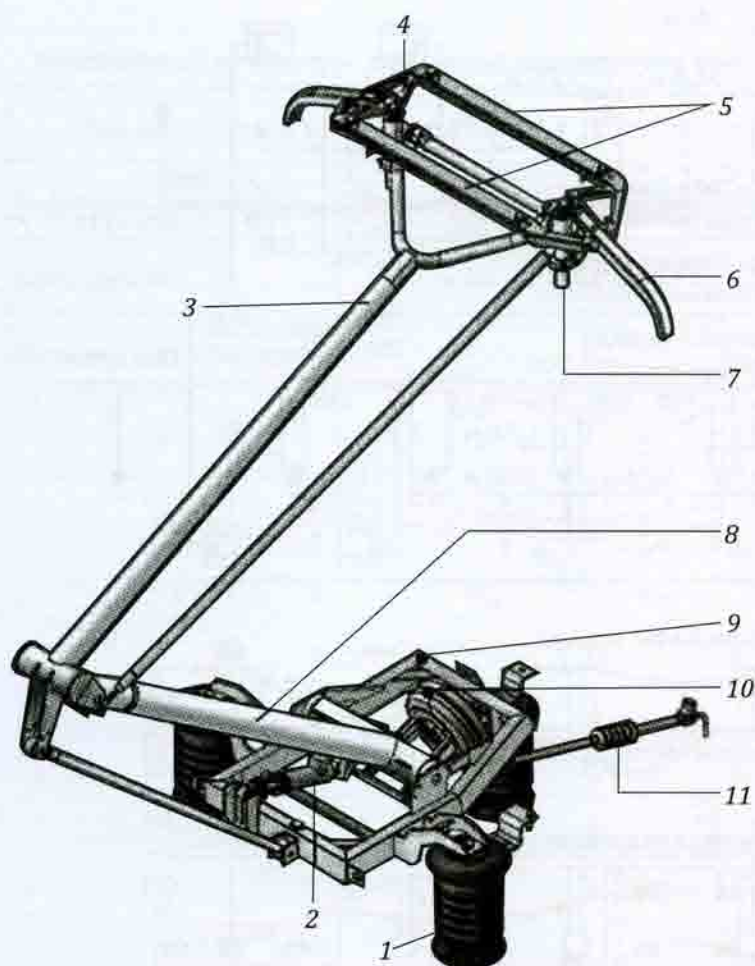


Рис. 10.39. Общий вид универсального токоприемника CX для поездов TGV: 1 — изолятор; 2 — демпфер; 3 — верхняя штанга; 4 — полз; 5 — контактные накладки; 6 — направляющий рог; 7 — подвеска; 8 — нижняя штанга; 9 — рама; 10 — пневматический привод; 11 — изолирующая трубка воздушной магистрали привода

зу нажатие, создаваемое подвижными устройствами, измеренное при увеличении высоты подъема, а F_2 — нажатие, возникающее при уменьшении высоты подъема ползца токоприемника. Идеальными являются статические характеристики (на графике — горизонтальные линии), которые соответствуют постоянству нажатия при любой высоте подъема ползца. Реальные характеристики зависят от конструкции подъемного устройства (подъемной пружины, радиуса рычага, угла между осью рычага и стержня нижней подвижной рамы).

Взаимодействие контактного провода и токоприемника определяет надежность и качество передачи энергии и соответствующие этому ограничению показатели. Результат взаимодействия зависит от конструкции контактной подвески и токоприемников. В последнее время достигнуты значительные успехи в обеспечении каче-

ственного токосъема благодаря применению новых методов моделирования и результатов эксплуатационных измерений.

Для оценки свойств контакта необходимы объективные критерии:

- используемые при моделировании;
- применяемые при контроле состояния системы токосъема в условиях эксплуатации;
- воспроизводимые результаты.

Важнейшим критерием оценки взаимодействия является сила нажатия токоприемника на контактную подвеску. С помощью измерения силы нажатия могут и должны распознаваться дефектные места в контактной подвеске. Условиями надежной передачи электрической мощности при взаимодействии являются: наличие постоянного электрического и механического контакта без падения напряжения; незначительный износ контактного провода и контактирующих накладок; длительный

срок службы при умеренных затратах на содержание; по возможности низкие капитальные затраты.

Теоретической основой взаимодействия являются положения теоретической механики о состоянии натянутой струны. Прикладное значение в данном случае имеет использование уравнения натянутой струны для определения силы нажатия токоприемника. Динамика взаимодействия позволяет оценивать отражение импульсных воздействий на контактную подвеску, оцениваемую коэффициентом отражения. Вместе с тем, важно оценить усиление импульсов механической нагрузки у токоприемника. С другой стороны, следует учитывать отражение импульсов.

Для получения результата оценки взаимодействия используются методы анализа уравнений состояния контактных подвесок при взаимодействии с токоприемниками. При моделировании преследуются определенные цели:

- прогнозирование сил нажатия токоприемника;
- формирование моделей частей контактной подвески и токоприемника;
- определение силы нажатия токоприемника в зависимости от места и времени;
- исследование новых конструкций контактной сети и токоприемника.

В процессе разработок контактных подвесок, отвечающих требованиям надежного и качественного токосъема, необходимо определить следующие параметры:

- систему конструктивного исполнения (выбор варианта сложной цепной подвески с рессорным тросом или без него, различные варианты струновых пролетов);
- марки и типы контактных проводов, струн, усилие натяжения проводов, износостойкость и электропроводимость материалов;
- динамические свойства фиксаторов;
- исполнение места возможных нарушений нормального прохождения токоприемников в цепных подвесках: пересечения контактных проводов, воздушные стрелки, секционные изоляторы, варьирование вы-

соты контактных подвесок в продольном профиле.

Параметры, которые необходимо учитывать при разработке токоприемника (см. рис. 10.39):

- различное исполнение рычажных механизмов: однорычажные и двухрычажные;
- различное исполнение контактирующих элементов, отдельное подрессоривание, основание;
- различные амортизирующие и демпфирующие свойства;
- возможность одновременного контактирования с контактной сетью нескольких токоприемников в одном поезде;
- совпадение точности моделирования токоприемника с моделью контактной подвески.

При моделировании взаимодействия модель токоприемника выполняется на основе динамической системы с тремя приведенными массами (рис. 10.40).

Приведенная масса токоприемника представляет собой некоторую эквивалентную массу, которая при движении обладает та-

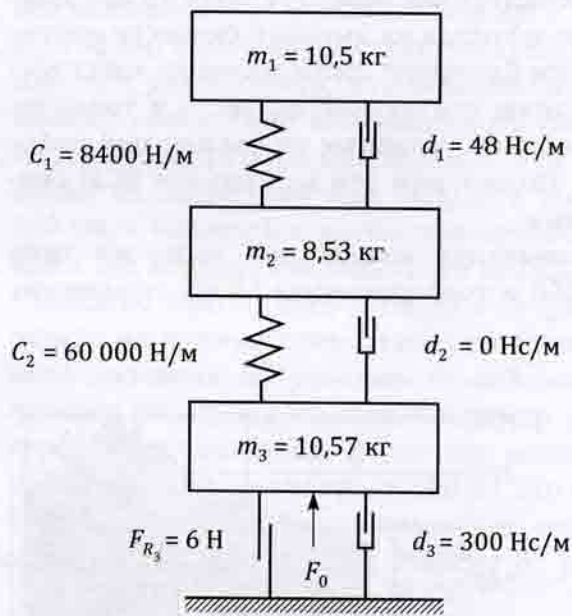


Рис. 10.40. Модель токоприемника с тремя приведенными массами: m_1 — масса полоза; m_2 — масса верхней штанги; m_3 — масса нижней штанги; C_1, C_2 — жесткость отдельных звеньев; d_1, d_2, d_3 — демпфирование; F_{R_3} — сила трения

кой же кинетической энергией, как и весь механизм токоприемника. Точка приведения расположена в плоскости контакта вставки токоприемника и контактного провода. Приведенная масса токоприемника определяется расчетным путем при его проектировании и экспериментально для готового изделия с использованием расчетных схем.

При подрессоривании ползцов приведенная масса токоприемника зависит от свойств упругости ползца и кареток:

$$m = m_2 \left[1 + \frac{1}{2 \left(1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} \right)} \right] + m_1, \quad (10.19)$$

где m_2 — приведенная масса подвижных рам; m_1 — масса ползца и других элементов верхнего узла; ω_1 — вынужденная частота колебаний ползца при движении токоприемника вдоль контактной подвески,

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{C_1}{m_2}},$$

здесь C_1 — суммарная жесткость кареток.

Качественная передача энергии при движении поезда на высокой скорости достигается благодаря согласованному конструированию контактной подвески и токоприемника по условиям их совместной работы. Рассмотрим это на примере ВСМ Германии.

Испытания контактной подвески типа Re250 и токоприемника SBS65 германских

железных дорог с двумя отдельными подрессоренными ползцами на верхней раме показали, что токоприемник со статическим нажатием 70 Н вследствие динамического воздействия, включая аэродинамическую составляющую силы, создавал при скорости 250 км/ч среднее нажатие 190 Н и максимальное 300 Н. Стандартное отклонение контактного нажатия при этом достигало 26 Н.

Токоприемник SBS65 (рис. 10.41, а), как оказалось в результате исследований, непригоден для работы со скоростями выше 200 км/ч, что объясняется не только его плохими аэродинамическими характеристиками, но и большой приведенной массой и недостаточно эффективным подрессориванием ползцов с резиновыми элементами. Установлено, что для обеспечения требуемого срока службы контактных проводов и контактирующих элементов токоприемника при высоких скоростях необходима новая конструкция токоприемника, которая при соответствующей контактной подвеске и скорости 300 км/ч не должна иметь среднего значения силы нажатия более 120 Н и стандартного отклонения от среднего значения более 20 %. Для предотвращения искрения оба ползца должны иметь одинаковую динамическую нагрузку. Необходимо также, насколько возможно, снизить суммарную массу токоприемника.

Новый немецкий токоприемник DSA350 (рис. 10.41, б), разработанный с учетом по-

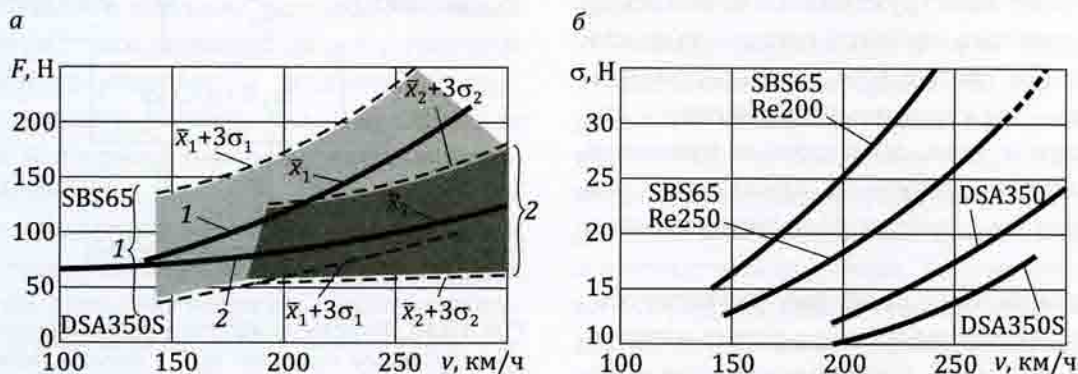


Рис. 10.41. Скоростные характеристики токоприемников: а — контактное нажатие токоприемников типов SBS65 (кривые 1) и DSA350S (кривые 2); б — стандартное отклонение нажатия токоприемников SBS65, DSA350 и DSA350S

лученных данных, имеет отдельное под-
рессоривание полозов посредством четы-
рех амортизирующих стоек и обеспечи-
вает улучшенные характеристики. Масса, при-
веденная к точке контакта с контактной
подвеской, в этом токоприемнике мини-
мизирована для полозов до 2,9 кг, а мас-
са верхних рычагов — до 9 кг. Токоприем-
ник DSA350 обеспечивает примерно оди-
наковые характеристики токосъема как
при обычном ходе шарниром назад (про-
тивошерстное движение), так и при обрат-
ном движении. Эта задача решается соот-
ветствующим расположением ветровых деф-
флекторов (аэродинамических экранов). Они
действуют так, что средняя сила нажатия
с повышением скорости движения увели-
чивается незначительно, и при 300 км/ч
составляет 120 Н (см. *рис. 10.41, а*). Дина-
мические свойства, определяемые приве-
денной массой, существенно улучшаются.
В диапазоне частот от 1 до 6 Гц приведен-
ная масса находится между 4 и 30 Нс²/м,
а в диапазоне от 7 до 12 Гц — между 0,4 и
11 Нс²/м. Для токоприемника SBS65 этот
показатель находится в диапазоне от 0,4 до
70 Нс²/м.

Дополнительные исследования показали,
что возможно дальнейшее улучшение дина-
мических свойств токоприемников. На *рис.*
10.41, б приведены характеристики стан-
дартного отклонения силы нажатия для раз-
личных токоприемников германских же-
лезных дорог. Как видно, для улучшенного
токоприемника DSA350S отклонение σ при
скорости $v < 250$ км/ч уменьшено до 10—
14 Н. Данный токоприемник с контактной
подвеской Re250 при $v < 350$ км/ч обеспе-
чивает высокие показатели:

$$F_{\text{стат}} = 95 \text{ Н}, F_{\text{max}} = 176 \text{ Н}, F_{\text{min}} = 78 \text{ Н},$$

$$F_{\text{cp}} = 128 \text{ Н}, \sigma = 18,2 \text{ Н}.$$

При локомотивном варианте формирова-
ния поездов высокоскоростное движение
реализуется с одним поднятым токопри-
емником. В опытной поездке в мае 1988 г.
поезда ICE (скорость 406,7 км/ч) при двух
локомотивах был поднят только один то-
коприемник. Тяговые единицы в голове

и хвосте поезда были соединены высоко-
вольтной магистралью.

Связь обеих тяговых единиц через такую
магистраль напряжением 15 кВ не являет-
ся единственно возможной. На практике
можно применить два токоприемника, на-
пример, при контактной подвеске Re250,
располагаемые в составе на расстоянии
200—400 м (*рис. 10.42*). Из временной зави-
симости отжатия контактного провода сле-
дует, что второй токоприемник всегда на-
ходится в зоне колеблющейся контактной
подвески и поэтому подвергается более ин-
тенсивной нагрузке. Это видно из характе-
ристик, приведенных на *рис. 10.42, в*, по из-
менению сил нажатия позади идущего и
впереди идущего токоприемников.

Как следует из данных исследований, при
равной статической силе нажатия макси-
мальные силы впереди и позади идущего
токоприемника различаются значительно:
соответственно 162 и 215 Н, а минимальная
сила — 70 и 15 Н. При скорости движения вы-
ше 250 км/ч для позади идущего токопри-
емника стандартное отклонение превышает
24 Н. Для сохранения качества токосъема
без возникновения электрической дуги при
 $v > 250$ км/ч необходимо статическую силу
нажатия увеличивать, что вызовет даль-
нейшее повышение максимального нажа-
тия и стандартного отклонения. Эти ус-
ловия не позволяют при скорости выше
280 км/ч работать с двумя токоприемни-
ками под контактной подвеской Re250.

Отжатие контактного провода в опорных
точках не должно превышать установлен-
ного значения по условию безопасности
прохода фиксаторного узла. Например, для
германских железных дорог эта величи-
на находится в пределах от 100 до 120 мм.
При езде с двумя токоприемниками отжа-
тие контактного провода зависит от рас-
стояния между ними (*рис. 10.43*).

Конструкция контактной подвески и ее
динамические свойства приводят к ограни-
чению максимальной скорости движения
с двумя токоприемниками. Это ограниче-
ние существенно зависит от расстояния
между токоприемниками l_T . Специальные

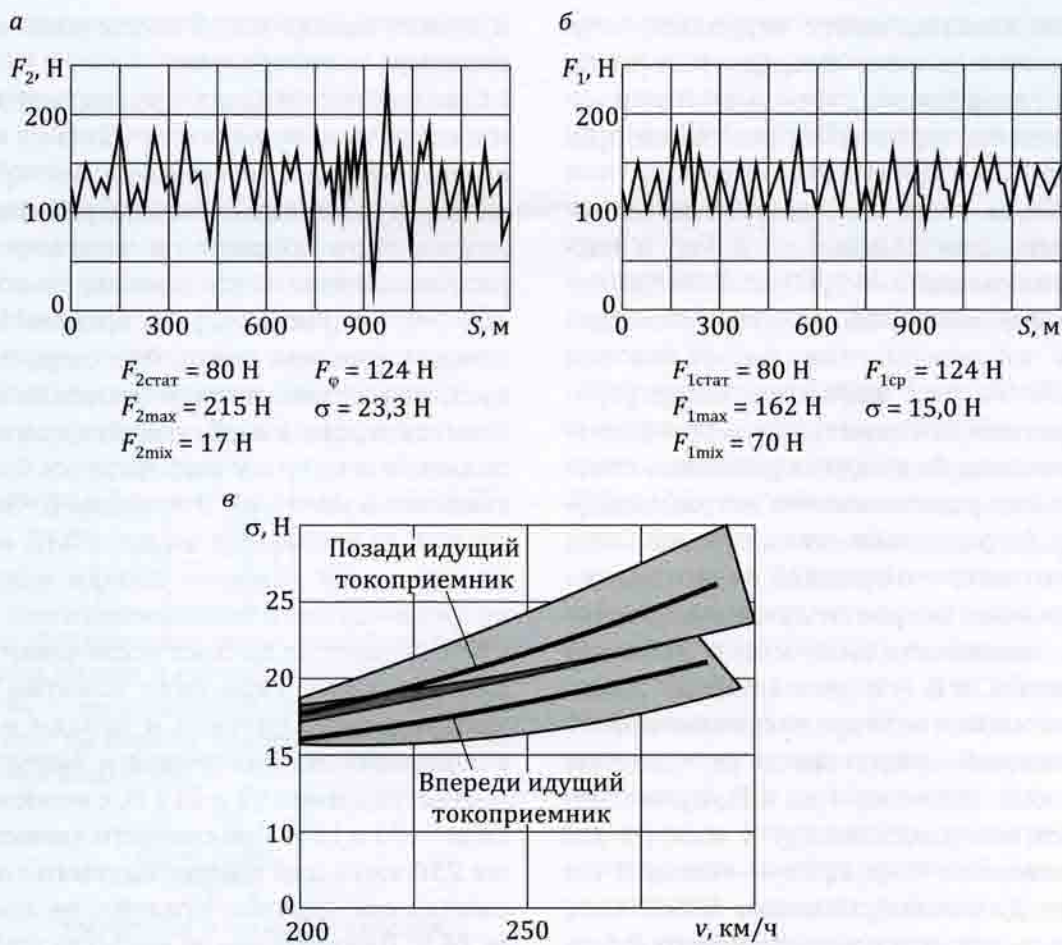


Рис. 10.42. Силы нажатия токоприемников и их стандартные отклонения при движении со скоростью 275 км/ч с двумя токоприемниками DSA350S под контактной подвеской Re250: а — позади идущий токоприемник; б — впереди идущий токоприемник; в — стандартное отклонение силы нажатия в контакте для обоих токоприемников

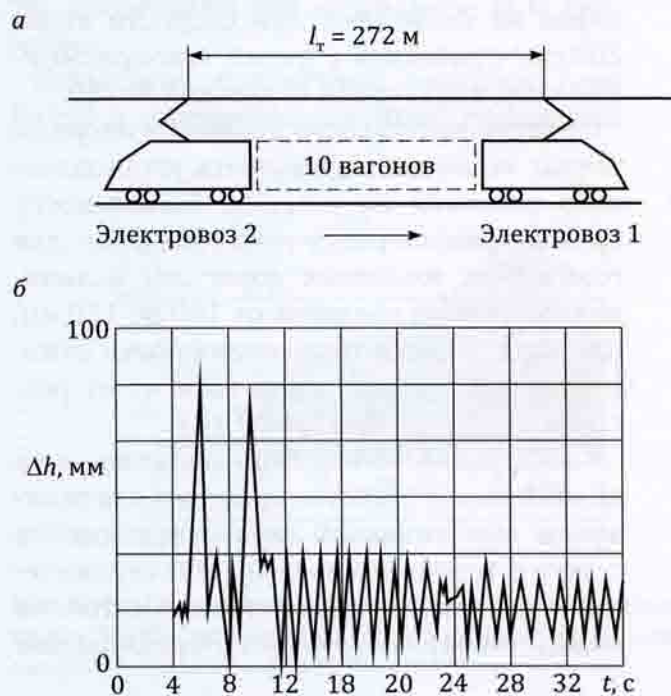


Рис. 10.43. Временная зависимость отклонения контактного провода Δh при движении поезда со скоростью 270 км/ч с двумя токоприемниками: а — схема поезда с двумя токоприемниками, l_T — расстояние между токоприемниками; б — зависимость $\Delta h = f(t)$

скоростные контактные подвески, например, контактная подвеска Re330 германских железных дорог, обеспечивает движение с двумя токоприемниками до скорости 200 км/ч при $I_T = 34$ м, а при $I_T = 240$ м позволяют работать со скоростью до 350 км/ч.

Срок службы контактных проводов и контактных вставок зависит от следующих факторов:

- контактных сил между контактной вставкой и контактным проводом;
- материала, из которого изготовлены контактная вставка и контактный провод;
- частоты размещения и размеров контактных вставок;
- значения тока, протекающего через контакт;
- скорости движения поезда;
- влияния окружающей среды.

Последние три фактора непосредственно зависят от линии электроснабжения. Остальные — зависят от конструктивного исполнения и материалов элементов, образующих контакт. В качестве материала контактных проводов используется электролитическая (E-Cu) и легированная медь. Согласно европейским нормам (prEN50149), могут применяться следующие виды легированной меди: CuAg, CuSn, CuCd и CuMg (легирование серебром, оловом, кадмием и магнием), а также легирование несколькими компонентами CuCrZr и CuCrZrMg (хромом, цирконием и хромом, цирконием, магнием).

Еще в конце 30-х годов XX в. в Германии испытывался стальной провод в медной оболочке. В современных условиях сталемедный контактный провод встречается на японских железных дорогах. Медь при электрическом контакте образует под воздействием окружающей среды защитную пленку окиси CuO_2 толщиной 5—20 мкм. Графит контактной вставки не разрушает эту пленку, она является токопроводящей и прочной.

Из перечисленных материалов контактных проводов, особенно для высокоскоростных дорог и мощного подвижного электрического состава, в наибольшей степени удовлетворяют поставленным требовани-

ям чистая электролитическая медь (E-Cu), а также легированная медь CuAg и CuMg. Медь, легированная кадмием, не может рассматриваться из-за несовместимости с окружающей средой, а CuSn не имеет существенных преимуществ по сравнению с CuMg.

В последние годы фирмой AEG проводятся испытания различных материалов для контактных проводов на специализированном стенде в виде диска диаметром 2,0 м с закрепленным на нем проводом. Диск вращается с частотой около 1500 об/мин, что соответствует линейной скорости движения провода относительно контактирующей вставки примерно 500 км/ч. На стенде могут задаваться сила нажатия в пределах от 0 до 300 Н и переменный ток от 0 до 1000 А. С увеличением тока до определенного значения при прочих одинаковых условиях износ провода снижается вследствие смазывающего эффекта, который возникает при образовании графитовой пленки. При токе 100—150 А минимальный износ достигается при скорости движения около 200 км/ч. С повышением значения тока возрастает электрическая компонента износа, и общий износ провода увеличивается. Механическая компонента его преобладает и существенно возрастает с увеличением силы нажатия. Это подтверждает важность ограничения и поддержания постоянства силы нажатия в процессе эксплуатации контактной подвески.

Для увеличения срока службы контактного провода целесообразно использовать CuMg 0,5, износ которого при скорости движения 250 км/ч в два раза меньше, чем провода из CuAg 01.

Увеличение скорости движения вызывает вначале рост износа контактного провода при постоянных силе нажатия и токе. Максимум износа проявляется при скорости 150 км/ч, а затем он значительно снижается. Это благоприятное обстоятельство следует учитывать при проектировании контактной сети ВСМ.

В качестве материала контактных вставок токоприемника используют сталь, легированную медь, а также графит и металлизированный уголь. Эти материалы по раз-

личному взаимодействию с контактным проводом. При взаимодействии с графитом и металлизированным углем на проводе образуется гладкая зеркальная поверхность. Применение меди и стали, наоборот, вызывает образование шероховатости на поверхности и как следствие — сильный износ как контактного провода, так и контактных вставок.

На японских, французских и германских ВСМ применяют различные материалы для контактных вставок в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

10.11. Строительно-монтажные работы при электрификации ВСМ

К настоящему времени в странах, имеющих ВСМ, определились близкие технические приемы и технология работ по организации строительно-монтажных работ при электрификации ВСМ. Они принципиально не отличаются от электрификации обычных магистральных железных дорог, при этом исполнение каждой операции требует более высокого качества работы. На *рис. 10.44* приведены основные работы, входящие в комплекс электрификации: I — монтаж опор; II — раскатка проводов; III — временное крепление проводов; IV — окончательное крепление проводов с соблюдением

ем проектных отметок по высоте и в плане. Поскольку в настоящее время высокоскоростные магистрали сооружаются только электрифицированными, то мероприятия по обустройству систем электроснабжения, строительству линий электропередач, зданий для тяговых подстанций, установке опор и монтажу контактной сети входят в общий план сооружения всей инфраструктуры ВСМ.

При строительно-монтажных работах применяется высокопроизводительная техника, привлекается квалифицированный персонал специализированных организаций, которые ведут работы по электрификации ВСМ, как и другие, в основном на основе конкурсных тендерных торгов. При выполнении больших объемов электрификации работают строительно-монтажные поезда или аналогичные подразделения. Конструкции опор, других элементов контактной сети изготавливаются на специализированных предприятиях с постоянным входным контролем поступающего сырья и комплектующих изделий и контролем качества изготовленной продукции.

На строительно-монтажных площадках работает как общестроительная техника, дорожно-транспортные машины, так и специализированные (*рис. 10.45*), например, для установки опор контактной сети, включая рытье котлованов под опоры и их монтаж (*рис. 10.46, рис. 10.47*), и другие операции — раскатка привода (*рис. 10.48*) и т.п.



Рис. 10.44. Основные работы, входящие в комплекс электрификации: I — монтаж опор; II — раскатка проводов; III — временное крепление проводов; IV — окончательное крепление проводов с соблюдением проектных отметок по высоте и в плане. Основные машины, используемые при электрификации: 1 — мотовоз; 2 — платформа с буровым станком и краном для установки опор; 3 — платформа со столбами для опор контактной сети; 4 — раскаточный комплекс; 5 — подъемная площадка для первичного крепления проводов; 6 — самодвижущаяся подъемная площадка для окончательного крепления проводов



Рис. 10.45. Установка на железнодорожном ходу, применяемая для бурения скважин под фундаменты опор контактной сети и их бетонирования. Франция, 1995 г.



Рис. 10.46. Фундамент для металлической опоры контактной сети ВСМ. Испания, 2010 г.

Одной из самых сложных операций при монтаже контактной сети, требующей внимания и осторожности в целях исключения повреждения контактного провода или несущего троса, является, так называемая «раскатка». В процессе ее осуществления провод или трос сматывают с барабанов, на которых они были доставлены с заводов, и равномерно распределяют по длине железнодорожного пути (рис. 10.49). Для

этой работы используют специальные раскаточные монтажные платформы или поезда (рис. 10.49). В последних конструкциях имеются системы для автоматического задания величины натяжения проводов.

Раскатанные провода временно прикрепляют в подвешенном состоянии к консолям. А затем уже окончательно монтируют в положении, предусмотренном проектом контактной подвески. Современные конст-



Рис. 10.47. Железобетонная опора контактной сети ВСМ. Франция, 1995 г.



Рис. 10.48. Раскатка контактного провода со специальной платформы, приводимой в движение мотовозом. Франция. 1995 г.



Рис. 10.49. Опытный раскаточный поезд с системой автоматического задания величины натяжения проводов контактной подвески. Италия — Россия. 2012 г.



Рис. 10.50. Монтаж контактного провода на ВСМ с передвижных вышек на смешанном автомобильно-железнодорожном ходу. 1990-е годы

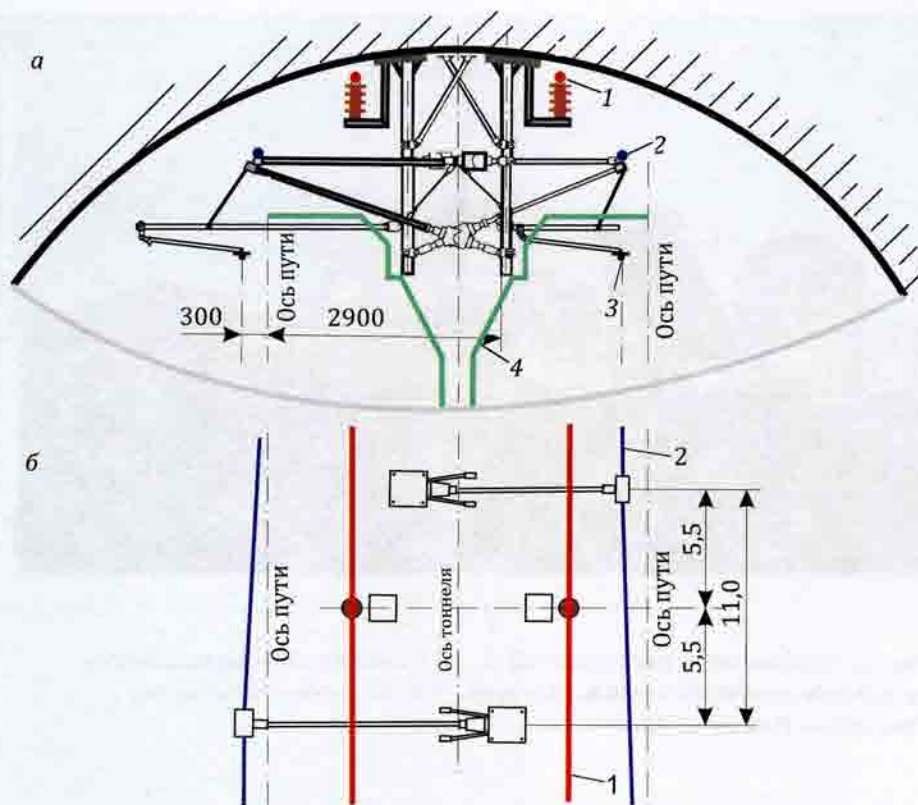


Рис. 10.51. Крепление контактной сети типа Re250 на ВСМ в двухпутном тоннеле: а — поперечное сечение; б — план линии: 1 — питающий фидер; 2 — несущий трос; 3 — контактный провод; 4 — габарит подвижного состава. Германия. 2001 г.

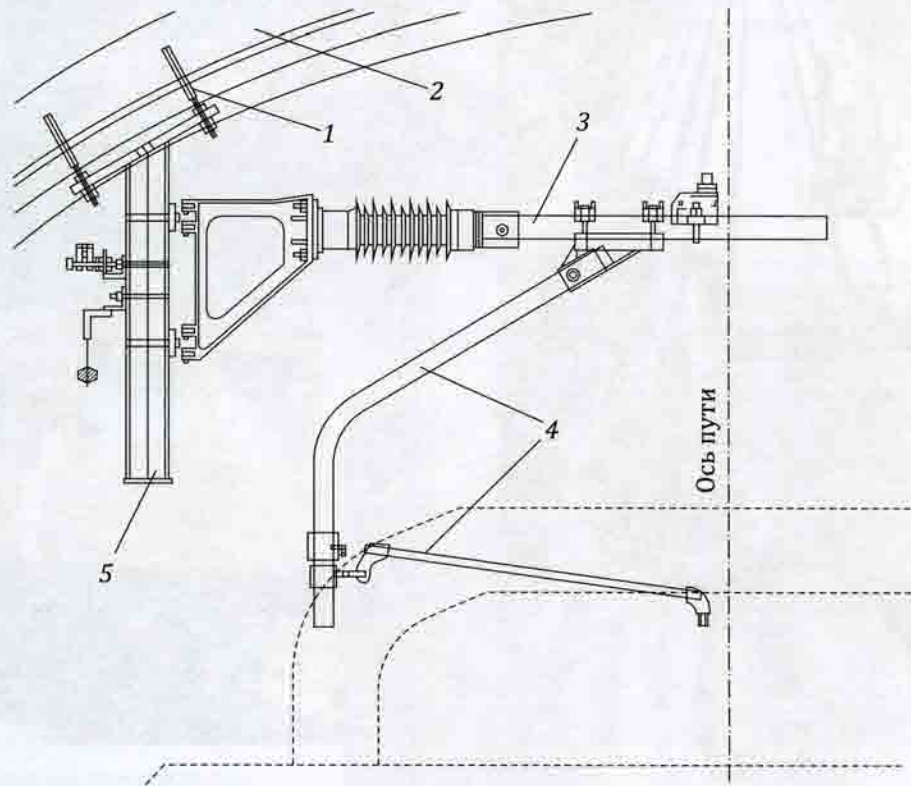


Рис. 10.52. Крепление контактной сети в Лечбергском базисном тоннеле: 1 — анкер; 2 — свод тоннеля; 3 — консоль; 4 — фиксатор; 5 — опорная стойка. 2010 г.



Рис. 10.53. Контактная сеть в двухпутном тоннеле на ВСМ «Кюсю». Япония. 2010 г.

рукции подвесок требуют соблюдения высокой точности монтажа с привязкой к конкретному месту на плане пути, с допусками, измеряемыми в мм, на отклонение положения контактного провода в пространстве. Для проведения подобных работ требуется специализированная монтажная техника — подъемные монтажные платформы-автомотрисы, в том числе и на смешанном автомобильно-железнодорожном ходу (рис. 10.50). В практике электрификации ВСМ находят применение средства высокоточного определения положения на местности и в пространстве (для выполнения проектных решений) с помощью спутниковых систем навигации GPS.

Определенная специфика имеется при устройстве контактной сети в тоннелях. Как правило, контактный провод подвешивается на консоли, кронштейны особой конструкции и формы (рис. 10.51—10.53), при этом учитывается, что в тоннелях на большинстве ВСМ скорость движения в настоящее время по соображениям аэродинамики и безопасности ограничивается значением 200—250 км/ч. В некоторых случаях, например, в тоннелях на подходах к подземным вокзалам скорость ограничивается до более низких значений, а вместо контактного провода используются жесткие токопроводящие шины из алюминия.

Глава 11

Автоматика, телемеханика и связь на ВСМ

11.1. Системы автоматики, телемеханики и связи на ВСМ, общие требования

При организации высокоскоростного движения поездов предъявляются повышенные требования к системам автоматики, телемеханики и связи, определяющими из которых являются обеспечение функционирования при высоких скоростях, безопасности движения и надежности устройств и систем управления. Техническим регламентом Российской Федерации «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» предписано, что подсистема железнодорожной автоматики и телемеханики (сигнализации, централизации и блокировки) должна обеспечивать безопасное движение подвижного состава с установленными скоростями и минимальным интервалом следования поездов. Указанные требования являются одними из основных при разработке систем управления и связи, определении способов обеспечения необходимых показателей быстродействия устройств и скорости передачи данных.

Система управления ВСМ рассматривается как единый комплекс, включающий устройства управления движением поездов, единую вычислительную среду, приборы обеспечения безопасности, связи и порядок технического обслуживания и ремонта устройств. Эта система призвана обеспечить:

- безопасность перевозочного процесса;

- выполнение графика движения поездов;
- надежность функционирования технических средств;
- минимизацию эксплуатационных расходов.

Анализ эксплуатации ВСМ в ряде зарубежных стран и рекомендации международных организаций, причастных к созданию ВСМ, в первую очередь — Международного союза железных дорог, позволяют сформулировать ряд общих положений для систем управления движением поездов (СУДП). Одним из важных является вывод о том, что современную СУДП необходимо строить на базе принципов формирования так называемой «цифровой сети», получившей обозначение ISDN (от англ. — Integrated Services Digital Network). Такая система формируется для совместного решения задач управления ВСМ и предоставления услуг связи.

СУДП должна строиться на принципах обеспечения автоматического управления и максимальной автоматизации функций операторов (рис. 11.1). Она содержит: стационарную аппаратуру системы управления (САСУ), установленную на станциях СПЦ (станционный пункт 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 диспетчерского центра управления (ДЦУ).

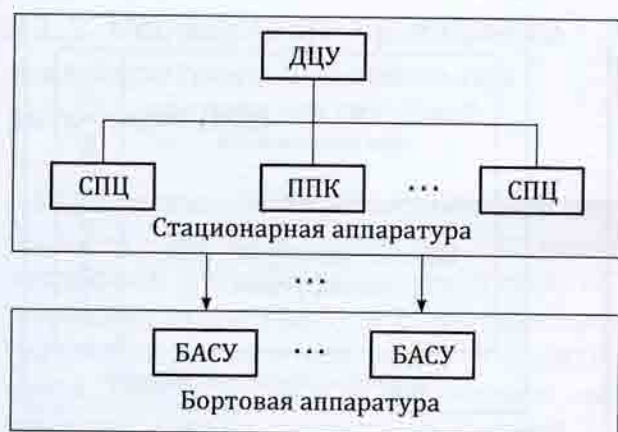


Рис. 11.1. Структура системы управления движением поездов на ВСМ

Координация управления всеми составляющими подсистемами ВСМ осуществляется из ДЦУ. Так, ДЦУ существующей линии Санкт-Петербург — Москва, обеспечивает управление движением всех поездов на линии, включая скоростные, размещается в Санкт-Петербурге. Собственно СУДП для этой линии основывается на традиционных, преимущественно релейного типа, системах сигнализации и автоматизированного управления — САУД.

В составе структуры — устройства обеспечения движения:

- автоматическая блокировка с автоматической локомотивной сигнализацией;
- электрическая централизация стрелок и сигналов;
- система диспетчерской централизации и технического обслуживания. При этом на станциях сохраняется сложившаяся инфраструктура: на постах электрической централизации (ЭЦ) перевозочный процесс организуют дежурные по станции, а в случаях использования микропроцессорной централизации (МПЦ) оборудуются автоматизированные рабочие места дежурных по станции. Здесь же находится персонал, обеспечивающий техническое обслуживание и ремонт. Вся магистраль оборудована системой автоблокировки с централизованным размещением аппаратуры (АБТЦ) на постах ЭЦ станций, примыкающих к перегону. В случаях превышения предельной длины перегонов (обусловлено ограничения-

ми действия централизованной автоблокировки) устраиваются ППК. Регулирование скоростных и высокоскоростных поездов на линии Санкт-Петербург — Москва осуществляется системой многозначной локомотивной сигнализации.

Управление движением поездов обеспечивается бортовой системой БАСУ в автоматизированном режиме управления с участием машиниста. К основным функциональным требованиям СУДП относятся:

- автоматизированное управление станционными объектами (установка маршрутов, индивидуальный перевод стрелок, обеспечение информации для пассажиров);
- реализация заданного графика движения поездов с требуемой пропускной способностью и с соблюдением условий безопасности;
- определение местоположения поездов, локомотивов, рабочих дрезин с эксплуатационным и ремонтным персоналом;
- ведение технологических моделей перевозочного процесса;
- контроль состояния и измерение параметров бортовой и стационарной аппаратуры на ВСМ в реальном масштабе времени (мониторинг).

В целом СУДП представляет собой сложную иерархическую систему управления, основополагающие принципы которой закладываются при проектировании элементов системы. На всех ее уровнях применяются аппаратные средства на основе вычислительной техники. Еще одним принципом является предъявление установленных проектом требований по безопасности к подсистемам управления на каждом уровне. Общими задачами построения безопасных систем являются:

- контроль соблюдения условий безопасности на основе информационной модели перевозочного процесса и установленных технологических параметров объектов управления;
- обеспечение надежного управления в случае нарушений технологического процесса (во вспомогательных режимах с передачей ответственных команд);

- исключение ошибок пользователя устройствами СУДП;
- выработка управляющих воздействий с обеспечением безопасности;
- перевод объектов или системы в защитные состояния при отказах;
- обеспечение необходимых условий информационного обмена между иерархическими уровнями СУДП;
- обеспечение достоверности индикации данных о состоянии объектов контроля.

На последующих этапах предполагается реализация автоматических режимов управления:

- автоматическая установка маршрутов из ДЦУ на всех станциях линии;
- регулирование перевозочного процесса на основе автоматического построения графика движения;
- автоведение поездов техническим комплексом БАСУ.

Иерархия структуры СУДП позволит реализовать многоконтурность подсистемы обеспечения безопасности. На рис. 11.2 показаны три контура:

- централизованный, на уровне ДЦУ, реализующий интервальное регулирование движения поездов и автоматическую установку маршрутов;
- децентрализованный контур — станционный уровень, представляющий собой модернизированные устройства СЦБ, обеспечивающие преемственность с действующими в настоящее время системами СЦБ;
- бортовой контур, 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.

Поэтапный ввод контуров управления позволяет повысить уровень обеспечения безопасности и обеспечить требуемые эксплуатационные показатели ВСМ, чем дос-



Рис. 11.2. Контурсы обеспечения безопасности движения поездов на ВСМ

тигается экономическая целесообразность уровня допустимого риска для пассажиров в течение рейса на каждом этапе эксплуатации.

Децентрализованный контур управления, выполняющий на первых этапах эксплуатации функции основного, сохранится как один из штатных контуров после полномасштабного ввода СУДП.

11.2. Особенности приборного и аппаратного обеспечения устройств СЦБ

Как показывает мировая практика, при больших скоростях движения установка проходных светофоров на перегонах теряет свою актуальность и доминирующей становится сигнализация на пульте машиниста. Вместе с тем для обеспечения маневровой работы и движения поездов, не оборудованных бортовой аппаратурой (хозяйственных, ремонтных), целесообразна установка на станциях напольных светофоров с применением упрощенной индикации (рис. 11.3, 11.4). В ряде стран, в том числе и в России, на ВСМ сохраняются принципы поездной и маневровой маршрутиза-

ции, применяемые на обычных железных дорогах.

На ВСМ повышаются требования надежности и безопасности функционирования к приборам и элементам СЦБ (рельсовые цепи, путевые датчики, средства индуктивной связи, радиотехнические устройства).

Важнейшим элементом современных систем железнодорожной автоматики и телемеханики являются рельсовые цепи. Традиционно они обеспечивают контроль свободности (занятости) рельсовых участков, целостность рельсовых нитей, взаимную увязку сигнальных показаний соседних светофоров. В системах автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) рельсовые цепи используются в качестве линий индуктивной связи для обмена информацией между напольными и локомо-



Рис. 11.3. Маневровый светофор со знаком границы блок участка. ВСМ. Бельгия. 2010 г.



Рис. 11.4. Маневровый светофор на ВСМ «Кюсю». Япония. 2011 г.



Рис. 11.5. Принцип определения занятости блок-участка с помощью счета осей на его входе и выходе

тивными устройствами. Однако рельсовые цепи обладают рядом недостатков: низкая надежность изолирующих стыков; неустойчивость работы в условиях изменения электрического сопротивления балласта в зависимости от погодных условий и других факторов; недостаточная точность определения координат поездов. Более надежными являются бесстыковые тональные рельсовые цепи, получившие распространение на участках, где используется цельносварной путь из рельсовых плетей «бесконечной длины».

Одним из преимуществ рельсовых цепей, по сравнению с другими датчиками занятости пути подвижными единицами, является контроль целостности рельсовой линии. Однако с помощью такого способа могут быть обнаружены только разрывы рельсов, в то время как микротрещины и повреждения головки рельсов не выявляются. Поэтому на ВСМ необходимо с установленной периодичностью проводить регулярное обследование всех участков пути с помощью измерительно-диагностических поездов (вагонов), оборудованных устройствами, которые дают объективную картину состояния рельсов, в том числе и обнаруживают некоторые скрытые от глаз дефекты. Эти устройства также фиксируют положение рельсовых нитей в плане и по уровню.

На ВСМ, помимо рельсовых цепей, целесообразно использовать и другие устройства контроля свободности пути, например, точечные датчики, которые иногда по старинке называют «рельсовыми педалями». Первые механические устройства с электрическими контактами имели конструкцию, напоминающую педаль, на которую

подвижной состав при проходе нажимал колесом. Они выполняют лишь одну функцию: фиксируют проследование колесной парой подвижной единицы некоторой точки пути (рис. 11.4—11.6). По сравнению с рельсовыми цепями такие датчики обладают рядом достоинств: устойчивость их работы не зависит от внешних факторов (состояния электрического сопротивления балласта и рельсов); отсутствует ограничение максимальной длины контролируемых участков; на эти приборы сигнализации не влияет обратный тяговый ток. При использовании точечных датчиков производится счет осей подвижного состава, вошедших и покинувших определенный участок пути (рис. 11.5). На основании сравнения этих данных устройство выдает сигнал о свободности или занятости участка.

В настоящее время разработаны и эксплуатируются различные бесконтактные датчики индукционного типа (рис. 11.6). Их действие основано на изменении магнитного сопротивления фиксирующего устройства под влиянием движущейся мимо него колесной пары. В некоторых странах, например, в Японии, используются и пьезоэлектрические путевые датчики. На линии Петербург — Москва проведены испытания дополнения рельсовых цепей системой счета осей с целью повышения надежности работы СУДП в целом.

На ряде зарубежных железных дорог внедрены точечные радио-датчики нового поколения, так называемые балисы¹, которые в зависимости от осуществляемых ими функций разделяются на пассив-

¹ Балиса — от франц. balise (бакен, буй; сигнальная мачта; радиомаяк). Для отличия от железнодорожных терминов в современной технической литературе, посвященной авиации, судовождению для обозначения подобного устройства используется англ. слово beacon.



Рис. 11.6. Компоненты устройства электронной путевой педали фирмы «Сименс» и пример ее установки на пути: 1 — приборный блок (внутренний вид); 2 — размещение приборного блока на пути; 3 — индукционный датчик («педаль»)

ные, обеспечивающие передачу данных с пути на локомотив, и активные, реализующие двусторонний обмен информацией (рис. 11.7).

Конструктивно балисы размещаются на шпале или плите между рельсами. Эти устройства содержат электронные компоненты радиопередатчика и элементы памяти, в которых записаны сведения нормативного характера (географические координаты, особенности профиля участка и т.п.).

Еще одним техническим средством, позволяющим осуществлять контроль свободности участков пути, являются линии индуктивной связи с проводниками (шлейфами), укладываемыми на шпалах или подош-

вах рельсов вдоль пути следования поезда (рис. 11.8). Через определенные интервалы меняется взаиморасположение проводников шлейфов путем их перекрещивания (так называемого «транспонирования»), чем обеспечивается смена фазы сигнала, поступающего на локомотив при проследовании мест перекрещивания шлейфов. По количеству этих изменений определяется положение локомотива на участке, а при известной длине поезда вычисляется и часть занимаемого пути.

Примером практической реализации на магистральном железнодорожном транспорте линий с индуктивной связью является система LZB фирмы «Siemens». Местоположе-

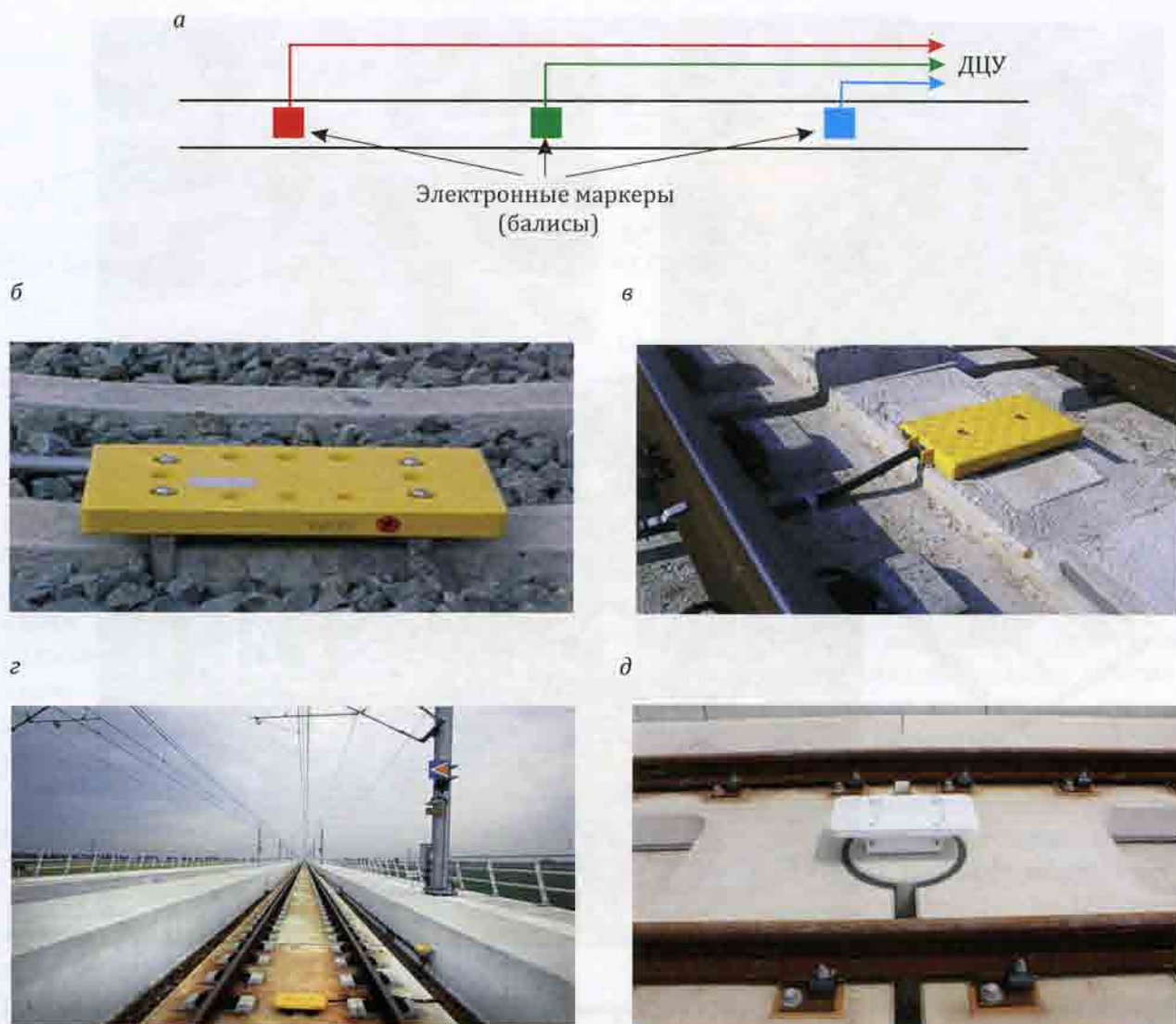


Рис. 11.7. Балисы: а — схема размещения маркеров на пути; б—д — внешний вид датчиков, используемых в разных странах, и способы их установки. 2000-е годы

ние поезда, в этой системе определяется по показаниям бортовых устройств поезда и информация передается в пункт управления; при этом погрешность не превышает 100 м (шаг транспонирования), а более точная информация поступает от одометра — осевого датчика пройденного локомотивом пути. На пункт управления координата поезда передается с точностью до 12,5 м.

Другим примером использования линий индуктивной связи является комплекс устройств «Euroloop» (от англ. loop — петля), в котором, в отличие от системы LZB, для передачи данных линейные кабельные шлей-

фы (рис. 11.9) используют не на всем протяжении пути, а только на отдельных участках (дискретно). Передача информации осуществляется в одном направлении — с пути на локомотив, на который сообщаются сведения о допустимой скорости движения, местоположении участков с ограничением скорости, расстоянии до следующей зоны передачи данных (шлейфа), что обеспечивает контроль бортовыми устройствами исправности очередного шлейфа и в случае необходимости переход системы в защитное состояние.

Существенным конструктивным недостатком систем типа LZB и «Euroloop» является

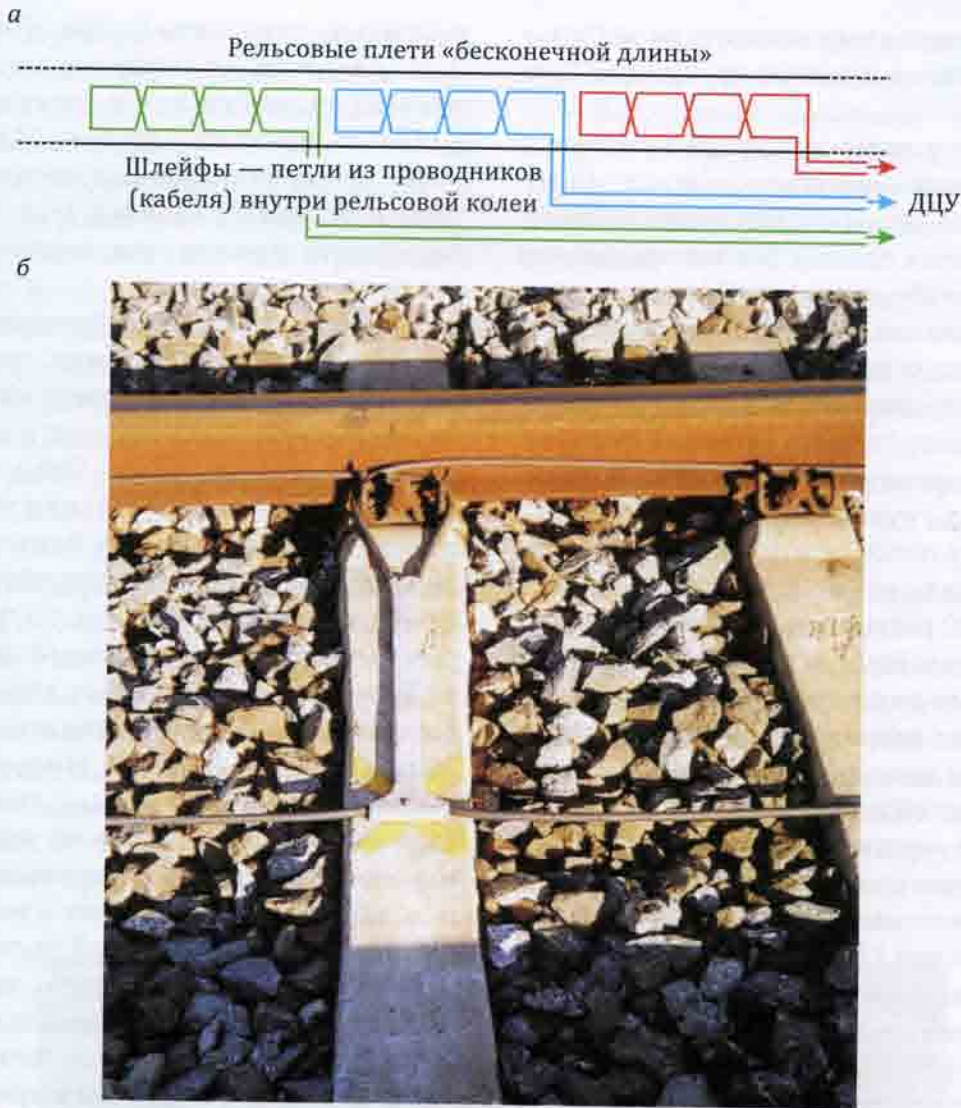


Рис. 11.8. Шлейф индуктивной связи, размещенный внутри рельсовой колеи: а — схема устройства; б — пример закрепления на ВСМ. Испания. 1991 г.

использование шлейфов, представляющих собой, как отмечалось выше, петли из кабеля, уложенные между рельсами. Наличие этих кабелей на рельсошпальной решетке усложняет работы по обслуживанию и ремонту пути, а также может стать причиной проблем с его защитой от вандализма и хищений¹. Вместе с тем применение шлейфов позволяет реализовать координатный принцип интервального регулирования движения поездов с организацией так называемых «подвижных» блок-участков, благодаря чему существенно улучшают-

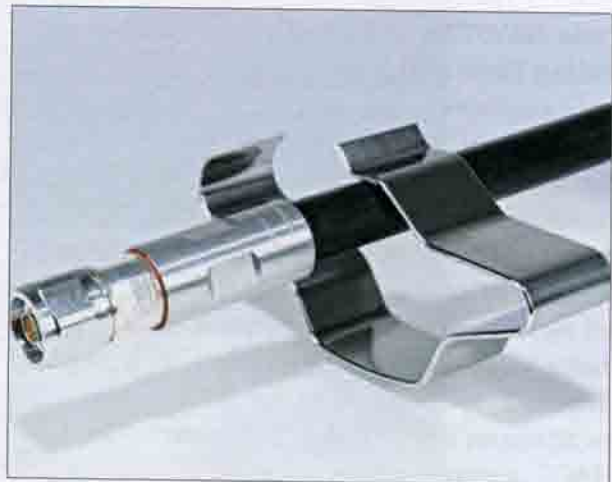


Рис. 11.9. Укрепляемый на рельсах коаксиальный кабель системы Euroloop S21 фирмы «Siemens», 2005 г.

¹ В последние годы по западноевропейским странам прокатилась волна вандализма и хищений кабелей различного назначения на железных дорогах.

ся эксплуатационные показатели линии, в частности, увеличивается пропускная способность.

В последние годы достигнут прогресс в использовании следующего поколения координатных систем определения положения подвижных единиц без использования напольных кабельных шлейфов, с применением радиоканалов, в том числе радионавигационных комплексов.

Радионавигационные системы с помощью бортовой аппаратуры и сигналов передатчиков, расположенных на Земле или на искусственных спутниках Земли, позволяют подвижному объекту измерять параметры своего движения: координаты, скорость, ускорение. С развитием техники и средств связи все больший интерес представляют спутниковые радионавигационные системы, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с наземными, в частности, обеспечивают устойчивую связь в условиях пересеченной местности.

В настоящее время спутниковые навигационные системы типа американской GPS или российской ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) позволяют определять координаты движущихся объектов с точностью до 2—3 м, что вполне достаточно для реализации координатного регулирования движения поездов. Кроме того, спутниковые системы с разной степенью функциональности действуют и используются для нужд ВСМ: американская NAVSTAR GPS (NAVigation Satellites providing Time And Range — англ: навигационные спутники, обеспечивающие измерение времени и расстояния; Global Positioning System (GPS) — англ.: система глобального позиционирования), российская ГЛОНАСС и европейская Galileo («Галилео»). Системы могут обеспечивать обмен информацией между подвижными единицами и пунктами управления (станционный и диспетчерский уровни). Однако на точность определения координат системами GPS, ГЛОНАСС влияет уровень приема сигнала от спутников. Прием сигналов ухудшается под плотной листвой деревьев или из-за очень большой облачности, при наличии помех от

наземных радиисточников. Перспективным является применение спутниковых навигационных систем в сочетании с традиционными устройствами (АЛС, бортовыми измерителями параметров движения) и балисами, однако широкого коммерческого применения подобные системы пока не нашли.

При этом, что касается бортовых измерителей параметров движения, то в настоящее время широко используются осевые измерители пройденного пути и мгновенной скорости (одометры). Принцип их действия основан на определении угловых перемещений колесных пар. Датчики первичной информации этих устройств генерируют импульсные сигналы, по числу которых вычисляется пройденный путь поезда, а следовательно, и его координата; по частоте импульсов устанавливается скорость движения, а по скорости изменения частоты импульсов — ускорение движения поезда. Основными причинами погрешности измерений осевыми датчиками являются: несовпадение осей датчика и колесной пары; возмущение рессорной подвески локомотива при воздействии пути; проскальзывание колесных пар при боксовании; изменение радиусов колес в результате их износа и радиуса круга катания в кривых.

Лучшими по точности являются радиолокационные измерители, основанные на использовании эффекта Доплера. Так, в диапазоне скоростей от 3 до 7 км/ч их погрешность составляет не более 2 %, а при больших скоростях, вплоть до 350 км/ч, — 0,01 %. Погрешность измерения пройденного пути составляет 0,2 %.

Одним из самых ответственных элементов путевой структуры являются стрелочные переводы. На применяемых на ВСМ полигох переводах длина остряка достигает нескольких десятков метров, что создает определенные трудности при устройстве стрелочных электроприводов, которые должны обеспечить надежный перевод стрелки и запирающие остряков в крайних положениях при любых погодных условиях. Усилия от стрелочного электропривода должны прилагаться к относительно длинным

и гибким острякам в нескольких точках. Контроль положения остряка также должен осуществляться по всей его длине. Для этого на пологих стрелках ВСМ устанавливаются не один, а несколько приводов по всей длине остряка (рис. 11.10).

Опыт применения пологих стрелочных переводов на высокоскоростных магистралях показал правильность перехода от использования одного стрелочного электропривода (СЭП), обладающего большим механическим переводным усилием и системой рычагов для управления дополнительными замыкателями, к устройствам у которых для каждого внешнего замыкателя предусмотрен индивидуальный электропривод с относительно небольшим усилием на рабочем шибере.

К переводным механизмам стрелок на высокоскоростных железных дорогах предъявляются определенные требования:

- механическое усилие для передвижения длинных остряков и сердечников крестовин должно прилагаться по всей их дли-

не в нескольких точках и обеспечиваться группой электроприводов;

- безусловное замыкание прилегающего остряка в определенных точках с обеспечением возможности перемещения остряков относительно рамного рельса в заданных пределах;

- надежное фиксирование отведенного остряка по всей длине;

- контроль подвижной части стрелки в части недопущения предельного сужения колеи;

- контроль обеспечения требуемого зазора между контррельсом и ходовым рельсом;

- надежная сигнализация взреза стрелки.

Наличие внешних замыкателей уменьшило вибрацию длинных остряков, что положительно сказалось на стабилизации элементов стрелочного перевода по уровню.

Одна из проблем обеспечения надежности работы стрелочного перевода, особенно при высоких скоростях движения, связа-



Рис. 11.10. Приводы остряков стрелочного перевода на ВСМ. Нидерланды. 2010 г.

на с тем, что отдельные детали механизма электропривода, в частности, тяги, приводящие в движение острия, устанавливаются между двумя соседними шпалами в шпальном ящике, балласт в который помещается только до уровня нижней поверхности шпалы. Это не дает возможности вести машинную подбивку двух соседних со стрелочным приводом шпал, что приводит к нарушению непрерывности технологического цикла процесса обслуживания пути, способствует уменьшению плотности балласта под этими двумя шпалами и к заметному вертикальному смещению пути под воздействием нагрузки от подвижного состава. Проведенные испытательные поездки показали, что в такой ситуации уже при скорости 230 км/ч мгновенные значения усилий в острие достигают 4000 Н.

Решение этой проблемы возможно применением конструкции стрелочного привода защелочного типа, размещаемого в корпусе так называемой «полый шпалы» (рис. 11.11). Привод в полый шпале физически заменяет железобетонную шпалу; механически защищает клиновой замыкатель, рабочие и контрольные тяги острия; улучшает функционирование стрелочного привода в зимних условиях, так как в полый шпале имеется электроподогрев. Такой стрелочный перевод не создает помех для работы путевой техники, производящей

подбивку балласта (рис. 11.12). Как показали опыт эксплуатации и испытания, указанный тип привода особенно эффективен на стрелочных переводах с остриями большой длины, предназначенных для высокоскоростного движения. Отечественный опытный образец такого стрелочного привода (СПМ) проходит испытания на ст. Унеча Московской железной дороги.

На линии между Москвой и Санкт-Петербургом в настоящее время для организации движения со скоростями до 200 км/ч используются стрелочные переводы Р65 марки 1/11 проекта 2726 и проекта 2956 на участке со скоростями до 250 км/ч.

Для перевода стрелки проекта 2726 установлены электроприводы (рис. 11.13):

- СЭП 1 типа СП-12У с внешним замыкателем ВЗ-7(ВЗ) на остриях и с рычажным переводным механизмом без замыкателя;

- СЭП 2 типа СП-12У с внешним замыкателем ВЗК на крестовине и с рычажным переводным механизмом без замыкателя.

Переводные рычажные механизмы широко используются за рубежом, но, в отличие от наших, совместно с внешними замыкателями в каждом сечении, что значительно повышает безопасность движения поездов по стрелке. На российских железных дорогах принято устанавливать внешние замыкатели на стрелочных переводах при ско-

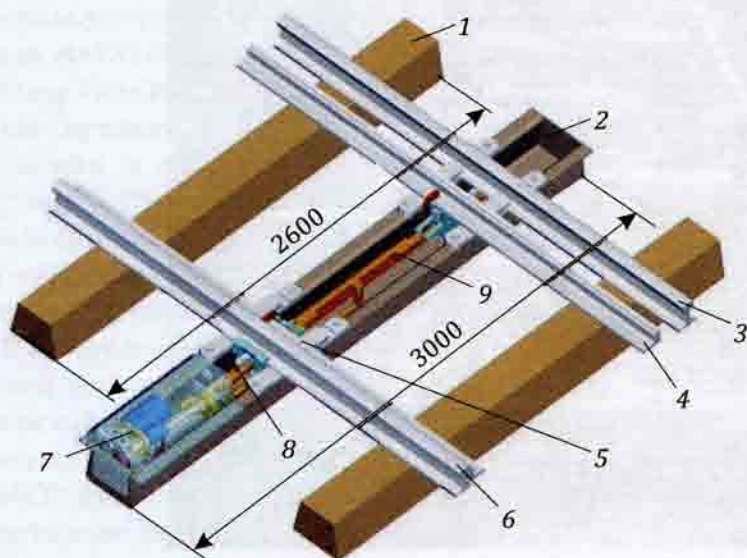


Рис. 11.11. Интегральный стрелочный привод фирмы Сименс S700 V в полый шпале: 1 — железобетонная шпала; 2 — полый шпала; 3 — рамный рельс; 4 — отжатый остри; 5 — прижатый остри; 6 — рамный рельс; 7 — электродвигатель с редуктором; 8 — переводной механизм; 9 — рабочие и контрольные тяги



Рис. 11.12. Работа путевой машины на стрелочном переводе, оснащенной приводом, в полой шпале

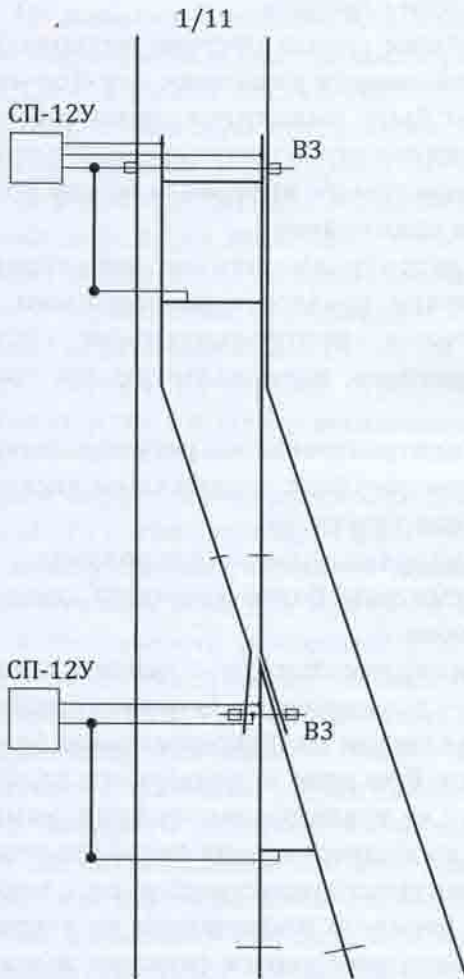


Рис. 11.13. Схема установки стрелочного электропривода на стрелочном переводе типа 2726

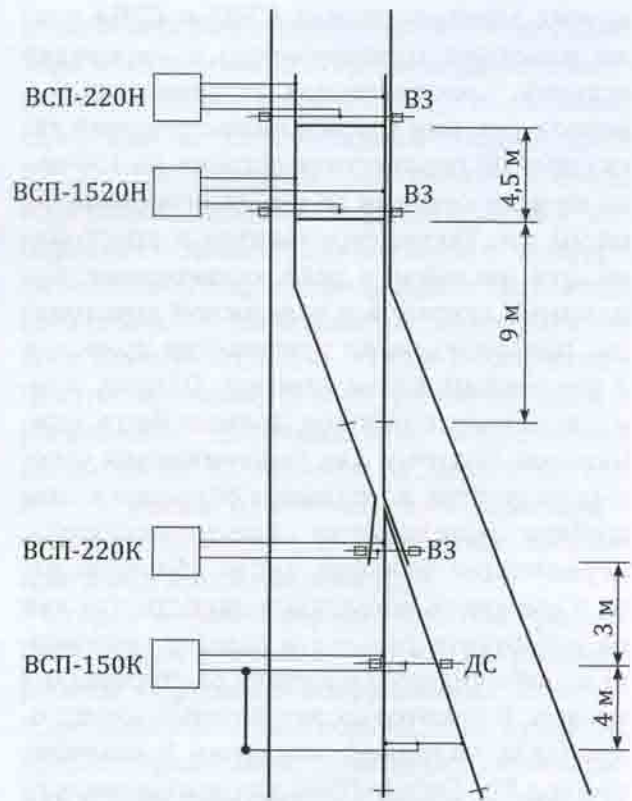


Рис. 11.14. Схема установки стрелочного электропривода на стрелочном переводе типа 2956

ростях движения поездов 160 км/ч и более. При меньших скоростях применяются электроприводы с внутренним замыканием типа СП-6М.

Для перевода и контроля стрелки проекта 2956 устанавливают электроприводы на остряхах либо на крестовине (рис. 11.14).

На остряхах:

- СЭП 1 типа ВСП-220Н с внешним замыкателем ВЗ-7 в первом сечении;
- СЭП 2 типа ВСП-150Н с ВЗ-7 во втором сечении (в 4 метрах от первого).

На крестовине:

- СЭП 3 типа ВСП-220К с внешним замыкателем ВЗК в первом сечении,
- СЭП 4 типа ВСП-150К с внешним дожимателем (ДС) во втором сечении и переводным рычажным механизмом в третьем сечении.

Причем два электропривода СЭП1 и СЭП2 работают одновременно и переводят подвижный сердечник крестовины, затем, два

других электропривода СЭПЗ и СЭП4 также работают одновременно и переводят острия. Электропривод, установленный в первом сечении (по оси межостряковой тяги) должен переместить острия на 150 мм, во втором сечении (в конце острожки) — на 70 мм. Также переводится и крестовина. Эти различия в ходе, характерные для длинных остряков и подвижной крестовины, предопределили применение приводов с различным ходом шибера. Однако, время перевода приводов должно быть одинаковым. Поэтому, для выравнивания угловых скоростей, в приводе с большим ходом шибера используется электродвигатель, передающий большее число оборотов вала и имеющий большую мощность, так как он «стартует» раньше и раньше принимает на себя силовую нагрузку со стороны остряков. В некоторых зарубежных электроприводах, например, компании Bombardier привод EBI Switch 2000, для выравнивания угловых скоростей применяют программируемые преобразователи частоты.

11.3. Средства регулирования движения поездов на перегонах

Технический комплекс интервального регулирования движения поездов (ИРДП) ВСМ решает задачи, характерные для магистрального транспорта с учетом специфики высокоскоростного движения. При организации высокоскоростного движения должно быть исключено внезапное изменение характера движения поезда по причине неисправности технических средств и необходимости применения экстренного торможения, что может привести к травмам пассажиров, повышенному износу пути и подвижного состава.

Требуется увеличение межпоездного интервала. На существующей скоростной магистрали Санкт-Петербург — Москва этот интервал равен десяти блок-участкам обычной автоблокировки. Из-за недостаточного количества комбинаций сигнальных пока-

заний напольных светофоров регулирования скорости машинистом осуществляется по показаниям многозначной автоматической локомотивной сигнализации (индикация на локомотивном светофоре).

При организации скоростного и высокоскоростного движения изолирующие стыки в рельсовых цепях являются нежелательными элементами конструкции пути. В настоящее время на магистрали Санкт-Петербург — Москва используются бесстыковые рельсовые цепи тональной частоты.

Необходима организация двухсторонней связи между подвижными единицами и напольным оборудованием с дальнейшей трансляцией информации в центры управления движением поездов — ДЦУ. К этим средствам связи предъявляются высокие требования по быстродействию и достоверности передачи.

В общем случае система интервального регулирования движения поездов на ВСМ может быть выполнена тремя способами, принципиально различными относительно допустимого интервала между подвижными единицами:

- децентрализованное регулирование движения поездов с постоянными блок-участками, контролируемые системой дискретного интервального регулирования;

- централизованное регулирование движением поездов с подвижными дискретными блок-участками;

- координатное регулирование.

Рассмотрим более подробно каждый из способов.

При первом способе — децентрализованном — *регулирование движения поездов осуществляется по фиксированным блок-участкам*. При этом используются рельсовые цепи с их традиционными функциями датчика свободы (занятости) участка пути и целостности рельсового пути, а также канала передачи информации на локомотив. На поезд передаются сигналы, вырабатываемые аппаратурой децентрализованного контура управления.

Среди главных причин недостаточной пропускной способности такой автоблокиров-

ки (АБ) следует отметить такие, как малую информационную емкость; полное отсутствие гибкости в управлении движением поездов; низкую дискретность определения местоположения поездов на перегоне, обусловленную применением рельсовых цепей длиной до 2500 м.

Использование напольной аппаратуры АБ требует обеспечения ее непрерывным электропитанием, для чего необходимо устройство высоковольтных линий электропитания; периодическое обслуживание, регулировка и ремонт. Соблюдение этих требований усложняется тяжелыми климатическими условиями России и обуславливает необходимость содержания большого штата обслуживающего персонала и вспомогательного оборудования.

Большое количество используемой системы АБ напольной аппаратуры снижает общую надежность и безопасность управления. Сбои в работе систем увеличивают психофизиологическую нагрузку на локомотивные бригады и дежурных по станциям. Перекрытие сигнала на запрещающее показание перед движущимся поездом вызывает необходимость применения экстренного торможения, что приводит к увеличению механических нагрузок на подвижной состав и на верхнее строение пути, а также может вызвать выжимание вагонов.

Вторым вариантом первого способа интервального регулирования с фиксированными блок-участками является использование счетчиков осей для контроля занятости и свободности рельсовых участков и точечной автоматической локомотивной сигнализации (АЛСТ) с применением путевых приемопередатчиков — балис. АЛСТ реализуется с помощью радиотехнических средств ближнего действия и составляет основу децентрализованного контура интервального регулирования системы управления движением поездов. Стационарная аппаратура АЛСТ предназначена для передачи на поезд и приема с поезда информации по управлению и организации вычислительными средствами БАСУ функционирования автоблокировки с фикси-

рованными блок-участками. В момент прохода поезда мимо датчиков осуществляется обмен информацией между подвижной единицей и стационарной аппаратурой АЛСТ. Через приемопередатчики на поезд поступают сигналы, вырабатываемые аппаратурой децентрализованного контура управления, характеризующие состояние (занятость — свободность) впередилежащих блок-участков, а также информация централизованного контура управления о разрешении движения и об ограничении скорости на каких-либо из блок-участков и т.п. С поезда принимается информация о скорости движения, диагностические данные и ряд других параметров.

Второй вариант первого способа требует реализации интервального регулирования работы бортового оборудования следующим образом: при прохождении путевого приемопередатчика, происходит двусторонний обмен информацией между поездом и стационарной аппаратурой. Бортовой приемопередатчик, обнаружив путевой приемопередатчик, принимает данные о поездной ситуации на магистрали в текущий момент времени, а затем передает собственную информацию.

Длина блок-участка устанавливается не менее максимальной длины тормозного пути и на перегонах составляет 5—10 км. На головном и хвостовом вагонах поезда располагаются два комплекта бортовой аппаратуры точечной АЛС (АЛСТ), фиксирующей занятие или освобождение блок-участков. При проходе поезда мимо стационарной аппаратуры АЛСТ с локомотива передается его номер и данные о местонахождении поезда, а на локомотив — сигналы о занятости впередилежащих блок-участков и ограничениях скорости. Характеристики каждого блок-участка хранятся в устройствах памяти на борту поезда.

Ограждение движущегося поезда сигналами АЛСТ аналогично модели ограждения движущегося поезда сигналами светофоров существующих систем автоблокировки. Точка начала снижения скорости рассчитывается бортовой центральной вычислительной машиной на основании ско-

рости поезда, длины соответствующего блок-участка и состояния тормозной системы.

Минимально допустимое расстояние между поездами должно составлять не менее одного блок-участка и зависит от скорости движения поезда. В случае фиксации головным приемопередатчиком поезда занятости блок-участка и подачи хвостовым приемопередатчиком сигнала об освобождении блок-участка при движении поезда с максимальной скоростью минимально возможное расстояние до идущего впереди поезда может составлять длину трех блок-участков, а при снижении скорости сокращается до одного. В случае же работы только одного приемопередатчика (второй в резерве) с фиксацией занятости блок-участка и освобождения предшествующего минимальное расстояние между поездами должно быть равно четырем блок-участкам за вычетом длины поезда.

При необходимости ограничения скорости движения поезда на каком-либо блок-участке или его отрезке из ДЦУ на точечный датчик, установленный перед предыдущим блок-участком, подаются кодовые комбинации, с помощью которых передается сигнал о величине ограничения скорости, а также указываются координаты точек начала и конца действия ограничения внутри блок-участка. К началу участка ограничения скорости поезд снижает ее до заданной величины и этот участок проходит с допустимой скоростью.

При втором способе — *централизованном регулировании* движения поездов осуществляется переменное включение в блок-участок такого количества рельсовых цепей, которое обеспечивает безопасный интервал попутно следующих поездов. При этом интервальное регулирование осуществляется посредством многозначной локомотивной сигнализации без проходных светофоров. Этот способ обеспечивает повышение пропускной способности существующей железнодорожной линии и может быть с минимальными затратами реализо-

ван на существующей линии со скоростным движением Санкт-Петербург — Москва. Повышение пропускной способности перегонов многозначные АБ обеспечивают также и за счет увеличения скорости движения поездов в условиях предоставления сигнальной информации о состоянии большего числа впереди лежащих блок-участков (расстояний до препятствия в виде совокупности находящихся впереди свободных рельсовых цепей). Таким образом, использование второго способа регулирования на линиях с интенсивным движением поездов предоставляет новые возможности для выбора оптимальной скорости движения подвижных единиц:

- на поезд непрерывно поступает информация о фактическом интервале до впереди идущего поезда или точки остановки;
- расчет допустимой скорости движения осуществляется с учетом тормозного пути в границах впередилежащих свободных рельсовых цепей;
- непрерывное регулирование допустимой скорости по реальному интервалу между подвижными единицами можно организовать с учетом динамики их движения.

Оснащение высокоскоростного поезда приемной аппаратурой многозначной АЛС-ЕН непрерывного типа и АЛС числового кода АЛСН обеспечивает возможность движения высокоскоростного поезда с допустимыми скоростями по сети обычных железных дорог, а также реализовать интервальное регулирование на принципах бесцветной сигнализации с подвижными блок-участками и изменяющимся числом входящих рельсовых цепей (вариант два).

Третий способ — *с координатным регулированием* — позволяет достичь максимальной пропускной способности, так как интервал между поездами определяется с учетом динамических характеристик подвижного состава. В основе построения такой системы интервального регулирования движения поездов лежит использование радиоканала для связи САСУ с поездами, т.е. АЛСР. Вдоль трассы устанавливаются

ся стационарные радиостанции, обеспечивающие связь с подвижным составом ВСМ на протяжении всего перегона.

Диспетчерский центр управления (ДЦУ) осуществляет автоматическое (в экстраординарных ситуациях — автоматизированное) управление движением поездов, для чего обеспечивает:

- разработку, хранение и ввод в бортовую автоматизированную систему управления поездов (БАСУ) массивов паспортных данных магистрали, рейсового задания для конкретного поезда по расписанию; информацию об ограничении скорости по условиям безопасности на различных участках пути; программное значение скорости;

- передачу тормозных и тяговых характеристик поезда и других исходных данных, необходимых для выполнения рейса;

- установку маршрута движения поездов и контроль выполнения условий безопасности;

- автоматический контроль за прохождением поездов посредством сравнения полученных по радиоканалу фактических параметров движения каждого поезда (пройденного пути, скорости, времени) с программными параметрами;

- прогнозирование поездной ситуации на ВСМ с учетом требований безопасности с помощью непрерывно функционирующей в процессе движения поездов математической модели ВСМ, включающее в анализ возможности выполнения графика без его корректирования; оценку меняющегося межпоездного расстояния; уточнение (изменение) рейсового задания; переход с автоматического на автоматизированный режим управления движением поездов из ДЦУ;

- выдачу команд на управление движением поездов.

Управление каждым отдельным поездом при выполнении планового графика движения осуществляется БАСУ поезда в соответствии с выданным рейсовым заданием и командами, передаваемыми по радиоканалу. В процессе движения в диспет-

черский центр управления непрерывно поступает информация, характеризующая исполнение данным поездом планового графика движения, а также о техническом состоянии систем и агрегатов подвижного состава, путевых устройств по данным установленных на поездах устройств диагностики.

Для обеспечения непрерывной связи между поездами и центром управления вдоль трассы ВСМ в помещениях станционных постов централизации и аппаратных промежуточных пунктов устанавливаются многоканальные стационарные приемопередатчики (СПП). Количество аппаратных промежуточных пунктов определяется с учетом требования перекрытия зонами действия стационарных приемопередатчиков всей трассы ВСМ. Расстояние между ними составляет 5—12 км в зависимости от условий распространения радиоволн вдоль магистрали и определяется необходимостью получения на входе приемников требуемого уровня сигнала. Приемники СПП работают непрерывно, а их передатчики включаются по запросу БАСУ поезда или в резервном режиме по команде ДЦУ.

Поездные радиостанции также работают непрерывно и в процессе движения вдоль трассы перестраиваются на частоту одного из каналов стационарного приемопередатчика, в зоне обслуживания которого находится поезд в данный момент.

Управление движением поездов осуществляется методом интервального регулирования с подвижными промежутками между поездами, обеспечивающим поддержание при всех условиях безопасного расстояния L , которое рассчитывается как функционал от текущей скорости движения поезда и длины его тормозного пути для данного профиля трассы.

Управление движением каждого отдельного поезда осуществляется его БАСУ в автоматическом режиме в соответствии с полученным рейсовым заданием. ДЦУ осуществляет контрольные функции за движением всех поездов. Для управления и

обеспечения безопасности движения от аппаратных промежуточных пунктов на поезд непрерывно поступает необходимая информация. Структурная схема технических средств бортового оборудования для организации интервального регулирования поездов представлена на рис. 11.15.

Основу бортового оборудования составляет бортовая центральная вычислительная машина (БЦВМ), построенная на базе безопасной ЭВМ, решающая следующие задачи:

- двусторонний обмен информацией между поездом и напольными устройствами;
- расчет параметров для управления движением поезда с учетом характеристик подвижного состава, профиля пути, временных ограничений скорости на отдельных участках;
- осуществление непрерывного контроля скорости движения поезда;
- непрерывный контроль за процессом торможения с учетом реальной эффективности тормозных систем;
- обеспечение автоматического прицельного служебного торможения;
- контроль состояния машиниста;
- подачу предупредительных световых и акустических сигналов машинисту.

В основе процесса интервального регулирования движения поезда по ВСМ лежат алгоритмы функции определения координаты подвижного состава и определения

допустимой скорости из условия обеспечения безопасного интервала. Процесс определения координаты подвижной единицы производится средствами бортовой аппаратуры поезда. Получение координат подвижных единиц возможно несколькими способами:

- использованием бортовых средств спутниковой навигации;
- по одометрическим измерениям пути, пройденного от контрольных точек;
- по координатам установки напольного оборудования при их проследовании поездом (балисы, изолирующие стыки рельсовых цепей, стационарная аппаратура САУТ).

Собственно алгоритм вычисления координаты поезда сводится к определению приращения пройденного пути, которое формируется датчиком пути и скорости по отношению к контрольной точке. Вычисленное значение координаты передается соответствующим потребителям (в ДЦУ для оптимизации режима управления и затем смежным поездам с целью обеспечения безопасного интервала). Взаимодействие бортовых и стационарных устройств систем безопасности предполагается организовывать по каналам сети GSM-R.

При незначительном расхождении результатов определения координат, полученных по сигналам осевых датчиков пути и скорости (ДПС) и от системы спутниковой навигации, производится коррекция координаты. При превышении величины расхождения координаты осуществляется регистрация отклонения с возможностью передачи этой информации в ДЦУ. Фактическая скорость поезда постоянно сравнивается с допустимой. Алгоритм определения допустимой скорости из условия обеспечения безопасного межпоездного интервала зависит от выбранного способа организации интервального регулирования. При централизованном регулировании движения поездов разрешенная скорость определяется из расчета обеспечения допустимого интервала между поездами с учетом длины пути служебного торможения при фактической скорости подвижного состава и его тормозных характеристик. Исходя из

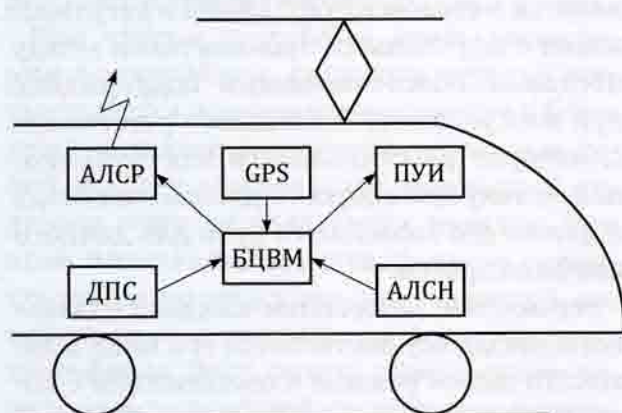


Рис. 11.15. Структурная схема технических средств бортового оборудования для организации интервального регулирования поездов

собственной координаты поезда и положения впереди идущего поезда, определяется действительная дистанция между ними, которая сравнивается с допустимым поездным интервалом при соответствующих характеристиках поезда. По результатам сравнения обеспечивается один из следующих режимов движения поезда:

- торможение, если допустимый интервал меньше фактического межпоездного интервала;
- сохранение параметров движения поезда при равенстве допустимого и фактического межпоездных интервалов;
- увеличение скорости поезда, если фактический межпоездной интервал больше допустимого.

Принятые на борт поезда сведения о свободности (занятости) пути и допустимой скорости движения с учетом временных ограничений скорости на впередилежащих блок-участках поступают в БЦВМ.

БЦВМ, получив от путевого приемопередатчика данные о свободности (занятости) впередилежащих блок-участков, на основании полученной информации о своем местоположении и скорости рассчитывает параметры движения поезда; вычисляет «кривую» торможения и передает необходимые данные о параметрах движения поезда и поездной ситуации на пульт управления и индикации машиниста — ПУИ, а также соответствующие команды в систему управления тягой и торможением поезда.

Переданные с поезда данные о номере поезда, его реальной скорости, состоянии подвижного состава поступают на станционный пост централизации и в диспетчерский центр и используются для контроля и регулирования движения поездов.

Применение бортовой микропроцессорной системы управления существенно облегчает работу машиниста, который при этом осуществляет:

- контроль работоспособности бортового оборудования; ввод исходных данных;
- выбор режима управления (автоматический или автоматизированный);
- подачу команды начала движения;

— включение экстренного торможения, в том числе и в режиме автоведения поезда;

— ведение поезда в режиме автоматизированного управления;

— управление открытием и закрытием наружных дверей вагонов поезда.

Сокращение функций машиниста, а также блокировка некоторых действий, которые при определенных условиях могут привести к аварийным ситуациям, повышает общий уровень безопасности движения поездов.

11.4. Станционные устройства автоматики и телемеханики. Диспетчерская централизация на ВСМ

В состав станционных технических средств входят автоматизированное рабочее место (АРМ) дежурного по станции (линейного диспетчера), а также базовые станции сотовой системы радиосвязи и исполнительные компьютеры, укомплектованные модулями сопряжения с бесстыковыми рельсовыми цепями, стрелочными электроприводами, светофорами. В АРМ дежурного по станции объединяются функции управления расположенными на станционном посту централизации системами микропроцессорной централизации (МПЦ) и автоматической локомотивной сигнализации.

АРМ дежурного по станции базируется на ЭВМ и включает устройства ввода/вывода информации (клавиатуру, «мышь», принтер, плоттер, цветной дисплей) и контроллер связи. Применяемые технические средства не накладывают ограничений на величину зоны действия станционного поста централизации, она определяется наличием СПЦ на магистрали, которые устраиваются только на крупных раздельных пунктах.

В зону действия (управления и контроля) каждого из станционных постов централи-

зации ВСМ включаются объекты, расположенные как на самой станции, так и на участке магистрали, закрепленном за данным постом, в том числе и малодеятельные промежуточные станции. Контроль и управление удаленными объектами, входящими в зону действия станционного поста централизации, осуществляются техническими средствами перегонных и станционных постов централизации, в составе которых имеются специализированные безопасные исполнительные компьютеры, обеспечивающие управление движением поездов на станции.

Следует отметить, что в качестве основы автоматизированного рабочего места поездного диспетчера используются компьютеры стандартной конфигурации, которые характеризуются высокой надежностью. Подключение резервного АРМ позволяет одновременно его использовать для составления и тестирования расписаний движения поездов, и решения других задач. Электропитание вычислительных средств следует выполнять от систем на основе источников бесперебойного питания.

АРМ поездного диспетчера оборудуется как минимум тремя цветными дисплеями с размерами экранов по диагонали не менее 21 дюйма. На одном дисплее отображается общая обстановка на трассе движения поездов; на другом — увеличенное изображение выбранной диспетчером зоны с описанием состояния наземных устройств СУДП; на третьем — графики движения поездов. Как правило, в ДЦУ проектируется табло коллективного пользования на основе плазменных или жидкокристаллических панелей. Для оснащения других рабочих мест (например, АРМ системы безопасности) могут использоваться терминалы, подключаемые к специальному серверу. В качестве терминалов применяются персональные компьютеры.

Для хранения архивной и статистической информации в комплексе выделен сервер базы данных. Структура программного обеспечения СУДП соответствует стандартизо-

ванным спецификациям. Основные модули программного обеспечения (управления и контроля) предоставляют возможность:

- автоматической установки маршрутов в соответствии с расписанием движения поездов на согласованный диспетчером предстоящий период;
- приема и идентификации сигналов от поездов и наземного оборудования;
- отображения на экране компьютера графиков движения поездов с возможностью прогнозирования очередности установки маршрутов для прибывающих на станцию поездов и оперативной перестройки расписания в случае необходимости;
- обеспечения безопасности при управлении движением поездов;
- получения данных через интерфейс от системы электроснабжения для коррекции расписания в соответствии с текущими ограничениями по электропотреблению;
- информационного обслуживания пассажиров с передачей данных как по команде диспетчера, так и автоматически — из расписания.

Распределенная база данных осуществляет управление поступлением информации в режиме реального времени, обеспечивая высокую устойчивость вычислительного процесса за счет автоматической передачи функций при сбоях в работе устройств с одного рабочего места на другое.

11.5. Европейская единая система управления движением поездов

Исторически в процессе развития железнодорожного транспорта в европейских странах сформировались различные системы сигнализации и связи, разнообразные устройства обеспечения безопасности движения поездов. Как правило, эти системы и приборы, разработанные в разных странах, несовместимы в эксплуатации, что

в условиях европейской интеграции стало существенным препятствием при пересечении государственных границ, затруднении для развития международных железнодорожных перевозок. В частности, приходится производить либо смену локомотивов, либо оборудовать их несколькими различными комплектами устройств обеспечения безопасности движения и автоматики, пригодными для работы на железных дорогах разных стран.

Однако такой подход не пригоден для ВСМ. Все высокоскоростные поезда как с локомотивной тягой, так и моторвагонные, построены по принципу составов постоянного формирования и расцепляются только во время ремонтных работ в условиях депо. Поезда ВСМ эксплуатируются как нераздельные подвижные единицы, без прицепки и отцепки локомотивов, что исключает их смену на границах железных дорог. В случае установки на поездах нескольких комплектов приборов, пригодных для работы на железных дорогах разных стран, бортовая аппаратура обеспечения безопасности движения существенно усложняется, что приводит к снижению ее надежности и росту стоимости. Таким образом, отсутствие единых международных стандартов системы сигнализации и управления движением поездов неблагоприятно влияет на развитие европейских высокоскоростных магистралей и ухудшает конкурентоспособность железных дорог.

С целью устранения указанных негативных факторов Международный союз железных дорог в 1991 г. стал инициатором проекта Европейской системы управления движением поездов, получившего название ETCS (European Train Control System, от англ. — Европейская система управления поездами). Основные требования к этому проекту подготовлены группой экспертов и специалистов комитета «А200» при Европейском институте железнодорожных исследований. Создание единой системы управления движением поездов на европейском уровне является важным шагом в на-

правлении стандартизации и унификации при разработке и эксплуатации прикладных систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи.

Для удовлетворения разнообразных условий эксплуатации европейских железных дорог, в том числе высокоскоростных, система ETCS разрабатывается как многоуровневая и многофункциональная. Она должна быть совместимой с бортовым и путевым оборудованием существующих национальных систем сигнализации и связи железных дорог и действовать совместно с ними. Программы ETCS реализуются основными промышленными фирмами, выпускающими железнодорожное сигнально-техническое оборудование. Их сотрудничество с комитетом «А200» определяет меморандум, подписанный в Берне в июне 1991 г.

Проект ETCS имеет экономические, коммерческие, технические, эксплуатационные и социально-политические аспекты. Использование унифицированной системы для европейских стран приводит к уменьшению затрат, поскольку она реализуется по единому стандарту. Создается емкий европейский рынок средств железнодорожной автоматики и связи с массовым выпуском стандартных и недорогих системных компонентов. Исключается монополизм поставщиков, так как разные фирмы выпускают стандартное взаимозаменяемое оборудование и конкурируют между собой, что положительно влияет на его технические характеристики и цену.

Основная коммерческая цель ETCS состоит в обеспечении безопасных и относительно дешевых перевозок пассажиров и грузов. Безопасность движения повышается за счет оборудования железных дорог автоматическими системами управления. При этом увеличиваются скорости движения и уменьшаются интервалы следования поездов до значений, приближающихся к физически возможным.

В техническом отношении проект ETCS характеризуется расширением использова-

ния микропроцессоров и электронной обработки данных, в том числе и в блоках управления стрелками и сигналами. Компьютерная техника устанавливается на борту поезда, а также в устройствах напольного оборудования и соединяется с помощью систем передачи данных.

Основной принцип построения ETCS — модульность. Система состоит из типовых блоков и может работать в различных вариантах структурной компоновки. Функциональные возможности модулей легко адаптируются в соответствии с требованиями конкретных железных дорог. Структура ETCS включает в себя подсистемы — EUROCAV, EUROBALISE, EURORADIO.

Подсистема EUROCAV — бортовой комплекс системы ETCS, основным модулем которого является бортовой безопасный компьютер, выполняющий все вычисления, критические с точки зрения безаварийного движения поезда: допустимую скорость; расчет кривых экстренного торможения; сравнение и соответствие фактической скорости с допустимой. Компьютер также обеспечивает работоспособность поездных приборов, машин и агрегатов от момента включения до момента выключения.

Поездное оборудование содержит модуль определения времени и пройденного пути TOU. Полученные данные по специальному информационному поезвному каналу (шине) передаются другим модулям, приборам и устройствам; точность этой информации во многом определяет надежность и безопасность работы системы в целом. Для эксплуатации на железных дорогах с иными (местными) устройствами автоматики и телемеханики бортовая часть ETCS дополняется модулем STM2, предназначенным для обработки информации, поступающей от существующих напольных устройств, и преобразования ее в формат системы ETCS.

Подсистема EUROBALISE является стандартной аппаратурой передачи данных с поезда на путь и с пути на поезд. Она состоит из путевой части (приемоответчика), при необходимости дополняется блоком

сопряжения с путевыми сигналами и средствами централизации, и бортовой части, включающей антенну и электронную аппаратуру для приема и передачи информации. Подсистема EURORADIO обеспечивает непрерывное управление движением поездов с применением стандартной многоканальной аппаратуры подвижной радиосвязи. Диспетчерский радиоцентр, функцией которого является интервальное регулирование движением поездов, увязан с системой ETCS. Диспетчерский центр по радиоканалу получает данные о местоположении поезда и передает на поезд команды задания режима движения (расстояние до впередиидущего поезда или закрытого светофора на станции по трассе маршрута). Напольное оборудование передает на поезд информацию о параметрах пути следования поезда и о состоянии систем СЦБ. Для связи на направлениях «поезд — путь» и «путь — поезд» используются балисы или кабельные петли (шлейфы).

Система ETCS функционирует в режимах маневровых передвижений, автоматизированного и автоматического управления и в режиме ведения поезда в соответствии с нормами железных дорог конкретной страны. При этом нет необходимости использовать сразу все возможные функции. Выбор модификаций системы достаточно гибок и зависит от размеров движения на конкретном участке, требуемого уровня безопасности и финансовых возможностей заказчика.

В зависимости от оснащения участков спецификации ETCS предусматривают пять уровней системы: нулевой, первый, второй, третий и STM (Special Transmit Module, от англ. — специальный передающий модуль).

ETCS нулевого уровня — это режим, при котором подвижная единица с бортовым устройством ETCS движется по участку, не оборудованному системой. Функции контроля ограничены постоянной проверкой скорости с целью недопущения максимальной величины, которая определяется как меньшее значение из максимально допус-

тимой скорости поезда и величины, установленной для этого режима национальными правилами страны.

ETCS первого уровня (рис. 11.16) входит в группу вместе с другими системами с точечной передачей большого объема данных и динамическим контролем скорости. Основное средство передачи — приемоответчики: так называемые «Eurobalise», которые транслируют среди прочего разрешение на движение и параметры железнодорожной линии при проходе над ними локомотивного приемника сигналов. Применяются приемоответчики для передачи неизменяемой информации и управляемые приемоответчики для передачи переменных данных. Приемоответчики первого типа хранят и передают на поезд ранее запрограммированную информацию, в то время как приемоответчики второго типа работают под управлением напольных электронных модулей и передают получаемую от них информацию (например, о текущем показании напольного светофора). Приемоответчики связаны между собой средствами передачи информации, т.е. в большинстве случаев приемоответчики одной группы передают информацию о расстоянии до приемоответчиков следующей группы, что обеспечивает обнаружение неисправного или отсутствующего приемоответчика с помощью бортовых средств измерения пройденного пути. Кроме приемоответчи-

ков, могут применяться устройства передачи линейного действия. Ими могут быть кабельные шлейфы «Euroloop», уложенные на подошве рельса, или устройства радиосвязи, которые используются локально для передачи на поезд информации о текущем показании расположенного впереди светофора.

В состав данных, передаваемых с пути на поезд, входят также сведения о маршруте дальнейшего следования поезда. Они необходимы в тех случаях, когда напольный светофор не дает исчерпывающей информации о маршруте. Основываясь на информации, получаемой от путевых устройств, и данных о поезде, включая сведения о его тормозных свойствах, бортовой компьютер вычисляет в каждый момент времени динамическое ограничение скорости, которое отображается в кабине машиниста и используется для контроля движения поезда.

Поскольку ETCS первого уровня обеспечивает регулярную передачу разрешений на движение, напольные светофоры не являются обязательными, однако в большинстве случаев их сохраняют. Хотя в общем случае эта система не имеет ограничений по скорости, ее используют преимущественно в обычном сообщении при максимально допустимой скорости примерно до 160 км/ч. Система первого уровня применяется на существующих железных доро-

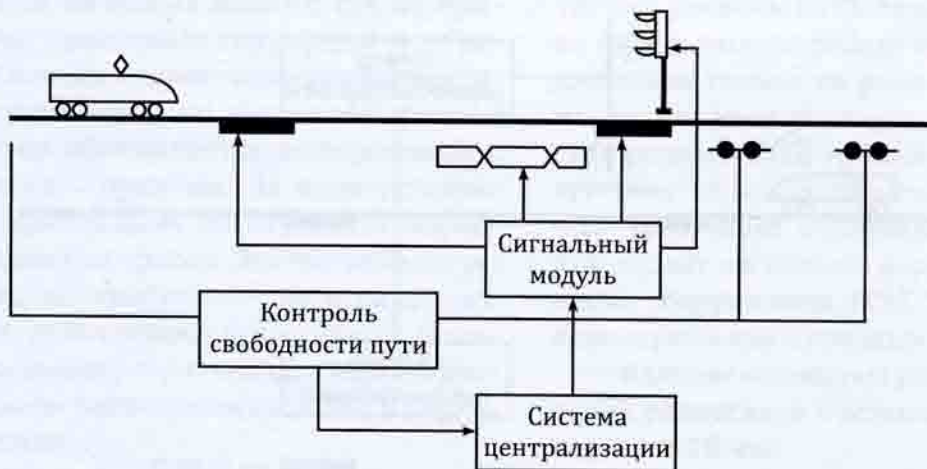


Рис. 11.16. Схема принципа регулирования движения поездов при ETCS первого уровня

гах с напольными светофорами, по показаниям которых могут обращаться поезда, не оборудованные устройствами ETCS. Напольное оборудование (рельсовые цепи или шлейфы) определяет координаты поезда и передает его на центральный пост. Через точечные путевые транзисторы, установленные на границах блок-участков или чаще, на поезд передаются данные о характеристике участка, пройденном пути и положении предыдущего поезда. Центральный пост, имея информацию о положении всех поездов на линии, через путевые транзисторы передает на каждый по-

езд заданный скоростной режим. Бортовой компьютер считывает эти данные и постоянно ведет вычисление точки начала торможения.

В ETCS второго и третьего уровней (рис. 11.17, 11.18, соответственно) осуществляется двусторонний непрерывный обмен информацией между устройствами инфраструктуры и подвижным составом, который обеспечивает система радиосвязи EuroRadio, базирующаяся на стандарте GSM-R.

Взаимодействие путевых устройств с поездом координирует центр радиоблокировки: RBC (от англ. Radio Block Centre). Центр

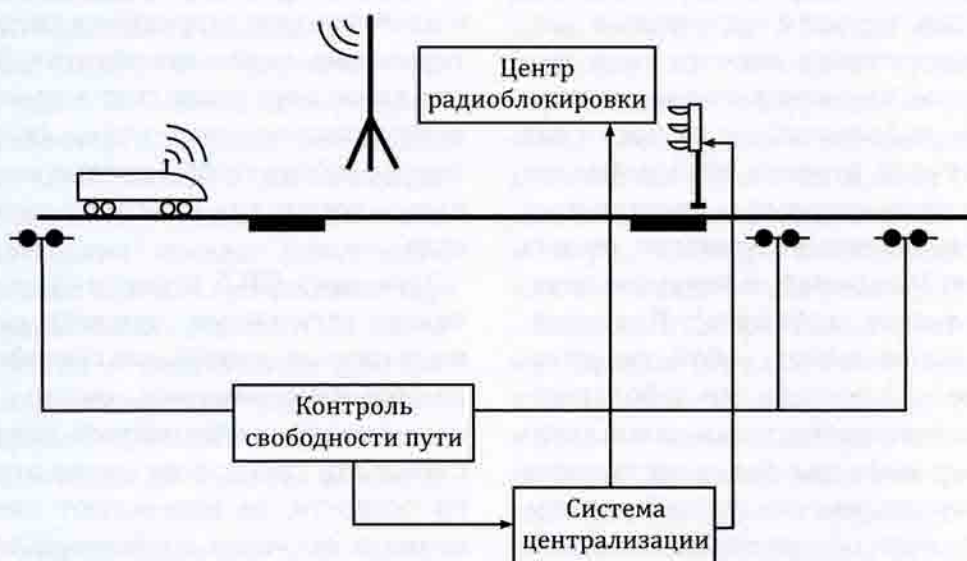


Рис. 11.17. Схема принципа регулирования движения поездов при ETCS второго уровня

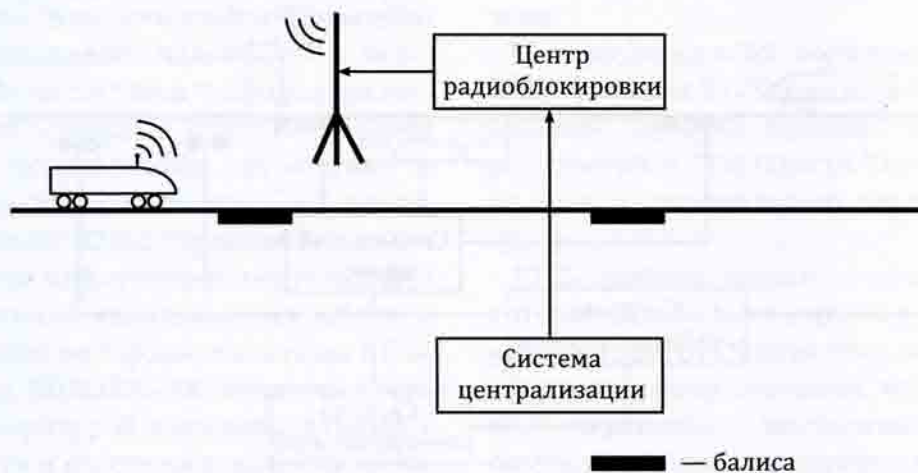


Рис. 11.18. Схема принципа регулирования движения поездов при ETCS третьего уровня

регулирует движение на протяженном участке линии, хранит статические данные о пути и транслирует на поезд динамические данные, например, о показаниях сигналов и положении стрелок, полученные от систем электрической централизации. В отличие от ETCS первого уровня центр радиоблокировки идентифицирует каждый поезд и контролирует его индивидуально. С поезда осуществляется запрос о разрешении движения через фиксированные промежутки времени (обычно каждые 60 с) или при возникновении особых ситуаций. Приемоответчики передают только неизменяемую информацию и предназначены в основном для определения местоположения поезда. Основное различие между ETCS второго и третьего уровней состоит в том, что ETCS второго уровня отвечает только за передачу на локомотив сигнальных показаний и контроль скорости движения поезда, а ETCS третьего уровня дополнительно осуществляет контроль свободности пути, выполняемый в системах второго уровня постами централизации, и проверку целостности состава бортовыми средствами. Эта информация транслируется в RBC. Кроме того, ETCS третьего уровня разграничивает интервалы следования с помощью подвижных блок-участков. ETCS второго уровня применяется на многих линиях, особенно с высокоскоростным движением.

Комплекс устройств *второго уровня* используется на новых линиях, где не применяются проходные светофоры и обрабатываются поезда, оснащенные радиопередающими системами, по которым бортовой компьютер обменивается информацией с центральным пунктом. На пути устанавливают простейшие электронные маркеры координаты трассы. Это могут быть устройства, не требующие электрического питания, работающие в пассивном режиме по радиозапросу с поезда. Характеристики трассы запрограммированы в бортовом компьютере.

Напольное оборудование определяет положение поезда на пути и передает инфор-

мацию на центральный пост. Последний обрабатывает информацию и по радиоканалу передает на поезд новые данные о скоростном режиме и положении предыдущего поезда. Бортовой компьютер вычисляет точку торможения и сообщает информацию машинисту на дисплей пульта управления. От каждого путевого трансмиттера поезд получает точную координату своего положения на пути, что позволяет корректировать ошибку в вычислениях бортового компьютера.

При реализации системы ETCS *третьего уровня* не применяется оборудование, фиксирующее положение поезда. Координаты каждого поезда определяются на центральном посту по информации, полученной от поезда по радиоканалу. Путевой трансмиттер представляет собой простейший электронный маркер километра, передающий информацию на поезд. Характеристики трассы предварительно заносятся в бортовой компьютер. Получив от очередного путевого трансмиттера координату пути, бортовой компьютер корректирует ошибку и передает на центральный пост по радиоканалу информацию о действительном местоположении поезда. Центральный пост вычисляет для всех поездов взаимные координаты и передает бортовому компьютеру каждого из них данные по скоростному режиму и положению впереди идущего поезда. При нагоне поезда бортовой компьютер вычисляет точку начала торможения. Третий уровень ETCS предполагает отказ от напольных устройств и осуществление движения только по радиоканалу в режиме подвижного блок-участка. Преимущества системы ETCS третьего уровня — в отсутствие сложных перегонных устройств СЦБ, требующих обслуживания и ремонта, что делает ее весьма перспективной для вновь сооружаемых ВСМ. Технически предусмотрено при этом должно быть:

- наличие полностью развитой сети цифровой радиосвязи с установкой радиомачт через 5—10 км;

- наличие полностью оборудованного парка подвижного состава, так как потеря

радиосредств на движущемся объекте может привести к катастрофе;

— контроль целостности состава только локомотивными средствами с гарантией безопасности.

Таким образом, третий уровень системы ETCS рассматривается только как перспективный, зависящий в основном от политических решений в области развития систем цифровой радиосвязи. Именно развитие цифровой радиосвязи GSM-R определяет создание опытных полигонов системы ETCS, но во всех случаях стремятся сохранить традиционные системы автоматики.

Уровень STM применяется в случае, когда поезд, оборудованный ETCS со специализированным модулем передачи, движется по линии, оснащенной только национальной системой АЛС. Этот уровень, а точнее, несколько уровней (их количество определяется числом специализированных модулей STM для адаптации к национальным системам) разработаны для периода перехода на общеевропейскую систему. STM добавляют к бортовому оборудованию для обеспечения взаимодействия между соответствующей национальной системой АЛС и ETCS.

Обобщая изложенное, можно утверждать о единстве подходов в идеологии регулирования движения поездов в европейских странах. Что касается стран Азии, то в Китае, например, создана национальная система управления движением поездов CTCs — аналог ETCS.

11.6. Организация связи на ВСМ

К сетям технологической связи на ВСМ, в отличие от обычных железных дорог, предъявляются повышенные требования по качеству и объему предоставляемых услуг. Особенности организации связи на ВСМ обусловлены высокими скоростями движения поездов (более 300 км/ч) и наличием интенсивных помех, создаваемых сило-

вым электрооборудованием инфраструктуры и подвижного состава.

Традиционно на железных дорогах, в том числе на ВСМ, используют проводную и радиосвязь. Сети проводной связи организуются при помощи кабельных и волоконно-оптических линий и по своему назначению подразделяются на два основных вида:

— *общетехнологическую связь* (ОбТС), предназначенную для ведения служебных переговоров между работниками, находящимися на одной или на разных станциях;

— *оперативно-технологическую связь* (ОТС), предназначенную для оперативного управления процессами перевозок (для переговоров поездного диспетчера со всеми отдельными пунктами, входящими в обслуживаемый им участок, для оперативного руководства электроснабжением, контроля продвижения подвижного состава по участку и др.).

При помощи средств проводной связи на ВСМ также организуется связь для обеспечения служебных переговоров руководителей ремонтных бригад (пути, электрификации и электроснабжения, автоматики и телемеханики, гражданских сооружений), обслуживающих объекты инфраструктуры на перегоне; с дежурными по станциям, ограничивающим данный перегон, а также с другими работниками ВСМ. Телефонные аппараты устанавливаются на опорах контактной сети и вблизи крупных искусственных сооружений.

Сети железнодорожной технологической радиосвязи по своему назначению делятся на четыре основных вида:

— *поездная радиосвязь* (ПРС), которая осуществляет обмен информацией между поездным диспетчером (дежурным по станции) и машинистами, связь машинистов между собой и с другими абонентами, обеспечивающими поездную работу; для организации ПРС используются стационарные (РС) и возимые (локомотивные) радиостанции (РВ), которые устанавливаются, соответственно, в помещениях диспетчеров и в поездах;

— *станционная радиосвязь (СРС)* служит для оперативного управления технологическими процессами на станциях;

— *ремонтно-оперативная радиосвязь (РОРС)* предназначена для организации служебных переговоров и обмена данными при производстве ремонтно-восстановительных работ на объектах инфраструктуры ВСМ, в том числе, для связи с сигнаристами, ограждающими место проведения работ; работники ремонтных бригад оснащаются носимыми радиостанциями (РН);

— *радиосвязь передачи данных (РСПД)* обеспечивает прием и передачу данных о техническом состоянии объектов инфраструктуры и подвижного состава ВСМ.

При организации сетей технологической радиосвязи используются три режима связи.

1. Одночастотный симплексный режим (simplex), при котором передача и прием информации осуществляется поочередно на одной и той же частоте. Связь между радиостанциями, как правило, организуется напрямую без использования ретранслятора (базовой станции). Радиостанции оснащаются специальным переключателем — тангентой, подключающим антенну радиостанции либо к передатчику (режим передачи — тангента нажата), либо к приемнику (режим приема — тангента отпущена).

2. Полудуплексный (двухчастотный симплексный) режим (half-duplex), при котором передача информации осуществляется на одной частоте, а прием — на другой. Как и в одночастотном симплексном режиме, информация передается и принимается поочередно. Связь между радиостанциями, как правило, организуется при помощи ретранслятора, приемник которого работает на частоте передачи радиостанций, а передатчик, — соответственно, на частоте приема. Радиостанции также оснащаются тангентой.

3. Дуплексный режим (duplex), при котором передача и прием информации осуществляется одновременно на разных частотах. Связь между радиостанциями организуется с использованием ретранслятора.

Тангента у радиостанций отсутствует.

Симплексный и полудуплексный режимы характерны для аналоговых систем радиосвязи, дуплексный режим — для цифровых.

В сетях проводной и радиосвязи возможны такие виды информационного обмена, как передача речи (для аналоговых и цифровых систем) и передача данных (только для цифровых систем). Причем для передачи речи могут использоваться три типа вызова:

— индивидуальный вызов (individual call), устанавливающий двухточечное двунаправленное соединение между вызывающим и вызываемым абонентами;

— групповой вызов (group call), устанавливающий многоточечное двунаправленное соединение между вызывающим абонентом и несколькими вызываемыми абонентами, которое организуется при использовании группового номера, присваиваемого каждому из членов группы;

— широковещательный вызов (broadcast call), осуществляющий одностороннюю передачу информации от вызывающего абонента нескольким вызываемым абонентам.

Для передачи речевых сообщений и данных в сетях технологической связи применяются два основных режима соединения (коммутации).

1. Коммутация каналов (circuit switching) — режим соединения, при котором по запросу вызывающего абонента на физическом уровне устанавливается временное соединение с вызываемым абонентом, и данному соединению на весь период связи выделяется фиксированная полоса пропускания. Основным достоинством данного режима является полное отсутствие перегрузок сети, недостатком — неэффективное использование ресурса связи.

2. Коммутация пакетов (packet switching) — режим соединения, при котором передаваемое сообщение разбивается на фрагменты (пакеты), каждый из которых последовательно, один за другим, пересылается адресату независимо, возможно разными

путями. В пункте назначения происходит сборка передаваемого сообщения из поступивших пакетов. Данный режим позволяет занимать канал только на время передачи пакета, после чего он освобождает для передачи других пакетов.

Для организации сетей технологической радиосвязи на ВСМ в настоящее время используются транкинговые и сотовые системы связи, реализующие двунаправленную радиосвязь между фиксированным компонентом системы — базовыми станциями (БС), и подвижным компонентом — подвижными (мобильными) станциями (ПС), которые перемещаются по территории, обслуживаемой системой БС. Зону обслуживания одной БС символически обозначают правильным шестиугольником — сотой. Площадь одной соты (зона обслуживания одной БС) намного меньше территории обслуживания всей системы, что позволяет значительно уменьшить мощность радиопередатчиков БС и ПС. Разделение территории обслуживания системы на соты, выделение каждой соте подгруппы каналов и возможность изменения мощности БС дают возможность реализовать гибкую структуру системы, учитывающую интенсивность трафика на данной территории в данный момент времени.

Еще на первых ВСМ в Японии, затем во Франции большое внимание было уделено организации надежной радиосвязи между диспетчерами и машинистами высокоскоростных поездов. На первых японских и французских высокоскоростных поездах появилась такая необычная новая коммерческая услуга для пассажиров как междугородняя телефонная связь из движущегося поезда. Для этого между поездом и стационарными АТС были организованы радиоканалы, а в вагонах были установлены телефоны-автоматы. В непрерывном улучшении качества этой связи они эксплуатировались до конца 90-х годов прошлого столетия, когда распространение общедоступной сотовой связи и увеличение зоны ее покрытия, которая охватила все линии ВСМ, сделало нерентабельным содержание

в поездах ВСМ междугородных телефонов-автоматов и они были демонтированы.

К началу развития ВСМ на европейских железных дорогах в эксплуатации находилось более 20-ти различных и несовместимых между собой систем управления движением поездов, в каждой стране действовали свои правила эксплуатации железных дорог (которые иногда даже противоречили друг другу), национальные требования по сертификации безопасности, системы подготовки и лицензирования машинистов, применялись пять различных систем тягового электроснабжения и использовались восемь различных, несовместимых между собой систем проводной и радиосвязи.

Решить проблему эксплуатационной совместимости и безопасности систем обеспечения движения поездов на европейских ВСМ было призвано внедрение Европейской системы управления движением поездов ETCS (European Train Control System), которая, вместе с системой цифровой железнодорожной радиосвязи стандарта GSM-R (Global System for Mobile Communications Railways — Глобальная система подвижной связи на железнодорожном транспорте), входит в состав Европейской системы управления железнодорожными перевозками ERTMS (European Rail Traffic Management System). При этом система сотовой связи GSM-R (рис. 11.19) используется как в качестве технологической железнодорожной радиосвязи (ППС, СПС, РОПС), так и в качестве канала связи между напольным и поездным оборудованием (РСПД).

Стандарт GSM-R является основой для построения Европейской интегрированной железнодорожной радиосети с расширенными возможностями EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) — европейского проекта, целью которого является разработка требований железных дорог ЕС к сетям железнодорожной радиосвязи. В рамках данного проекта были выпущены два основополагающих документа, определяющих функциональные (Func-

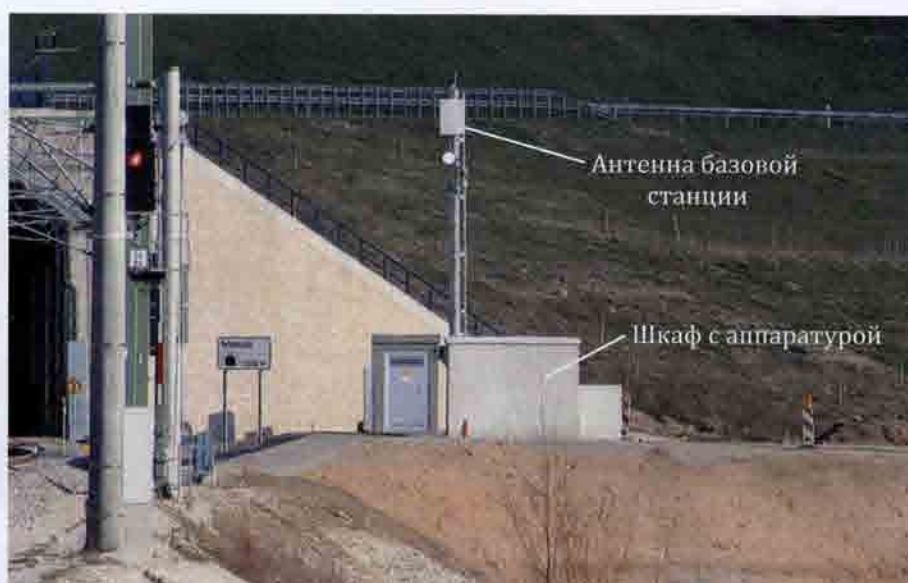


Рис. 11.19. Базовая станция GSM-R на высокоскоростной магистрали Нюрнберг — Ингольштадт. Германия. 2010 г.

tional Requirements Specification, FRS) и технические (System Requirements Specification, SRS) требования к системе GSM-R.

GSM-R является вариантом реализации стандарта GSM — системы сотовой связи второго поколения (2G — generation, англ.: поколение). К первому поколению относятся разнообразные (не совместимые между собой) системы, преимущественно, аналоговых стандартов, разработанные к началу 1980-х гг. в различных странах мира. Разработка стандарта GSM началась в 1982 г., а первые технические условия были изданы в 1990 г. Европейским институтом стандартизации в области телекоммуникаций (European Telecommunications Standards Institute, ETSI). Для обеспечения требований, предъявляемых со стороны железнодорожного транспорта, в стандарт GSM было внесено около 90 дополнений, наиболее важными из которых являются обеспечение группового и широковещательного вызова, возможность установления приоритетов и обеспечение экстренного вызова. В настоящее время промышленностью разных стран выпускается разнообразная аппаратура связи стандарта GSM-R (рис. 11.20).

Наряду со стандартом GSM-R на BCM также используется стандарт цифровой тран-

кинговой связи TETRA (Terrestrial Trunked Radio — Наземное транкинговое радио), который так же, как и стандарт GSM, разработан институтом ETSI. Разработка стандарта была начата в 1994 г., а первые спецификации появились в 1996 г. TETRA, в отличие от GSM-R, является открытым стандартом, т.е. доступ к спецификациям открыт для всех заинтересованных сторон, которыми являются, прежде всего, производители оборудования.

TETRA, помимо стандартного режима, позволяет абонентам работать в режиме непосредственной («прямой») связи (Direct Mode Operation, DMO), когда между подвижными станциями могут устанавливаться двух- и многоточечные соединения по радиоканалам напрямую, минуя базовые станции. При этом, подвижные станции могут работать в режиме так называемого «двойного наблюдения» («Dual Watch»), при котором возможен информационный обмен с абонентами, работающими как в сетевом (транкинговом) режиме, так и в режиме непосредственной (прямой) связи.

Изначально сети стандарта GSM-R обеспечивали соединение только в режиме коммутации каналов. Для обеспечения соединения в режиме коммутации пакетов была разработана технология GPRS (General



Рис. 11.20. Примеры аппаратуры системы GSM-R: а — портативное переговорное устройство для кабины машиниста; б — контейнер с приборами поездного комплекта GSM-R; в — графический дисплей приема и передачи данных GSM-R для кабины машиниста

Packet Radio Service — Служба пакетной передачи данных общего назначения по радиоканалу), позволяющая повысить скорость передачи данных со стандартных 9,6 кбит/с до 171 кбит/с. Развитием сетей GSM/GPRS является технология EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution — Усовершенствованная технология передачи данных для развития сетей GSM), позволяющая повысить скорость передачи данных до 384 кбит/с. Сети GSM/GPRS относятся к технологиям поколения 2,5G, а сети GSM/GPRS/EDGE — к технологиям поколения 2,75G.

Системы радиосвязи 3G и 4G (3-го и 4-го поколений) предоставляют подвижным абонентам ВСМ возможность передавать данные со скоростями, которые сопоставимы со скоростями, возможными в сетях проводной (фиксированной) связи — десятки и сотни Мбит/с. Наиболее распространенным представителем систем 3G является технология UMTS (Universal Mobile Telecommunications System — Универсальная система мобильной связи), позволяющая абонентам передавать данные со скоростью до 2 Мбит/с. Развитие данной тех-

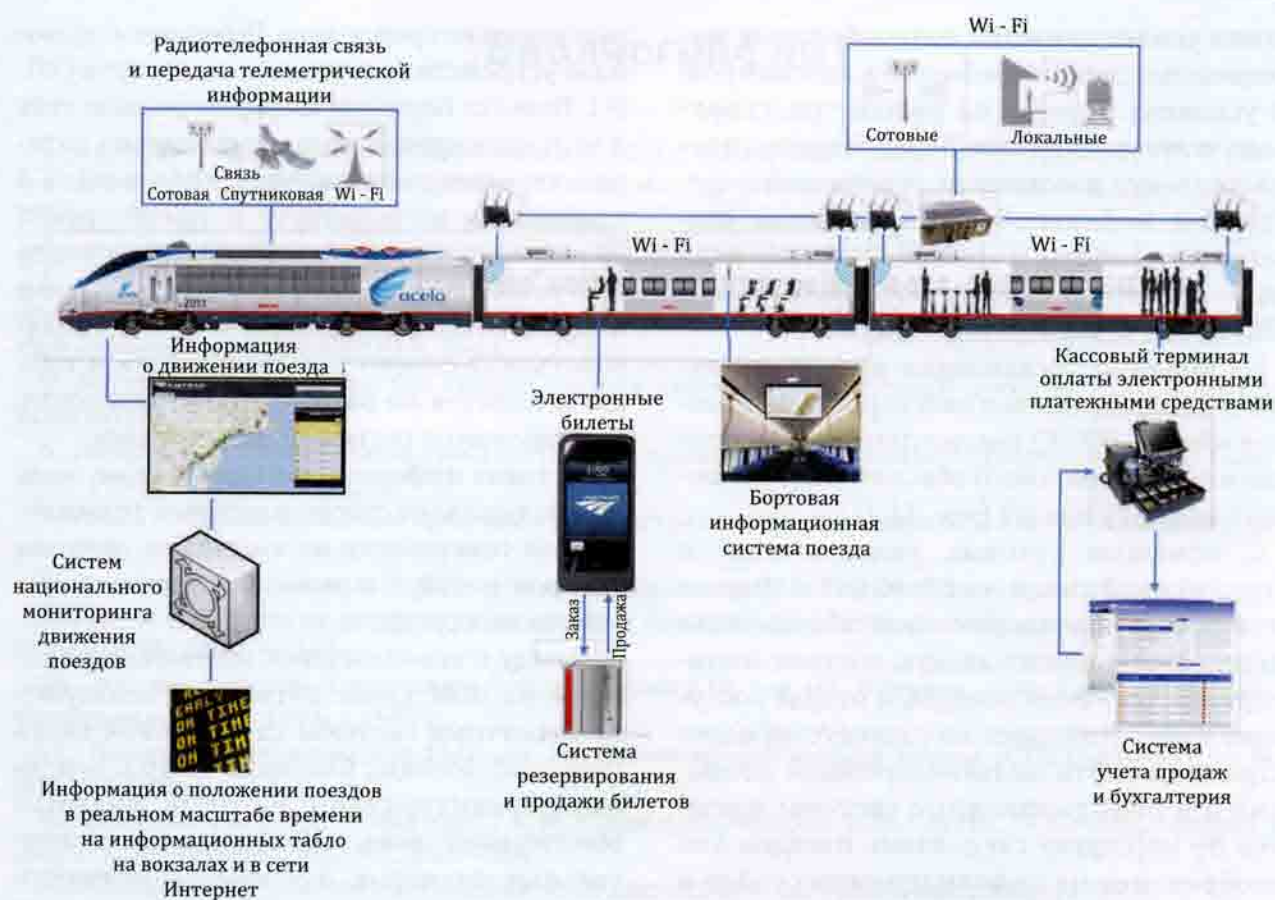


Рис. 11.21. Информационное обеспечение поезда «Acela» (без устройств и систем обеспечения безопасности и управления движением). США. 2010 г.

нологии привело к появлению ее модификации — HSPA (High-Speed Packet Access — Высокоскоростная пакетная передача данных), использование которой позволяет повысить базовую скорость передачи данных до 14 Мбит/с. Представителями систем 4G, скорость передачи данных в которых может достигать сотен Мбит/с, на сегодняшний день являются две технологии:

LTE («Long Term Evolution» — «Развитие на длительный период»), являющаяся развитием технологии UMTS/HSPA;

WiMAX («Worldwide Interoperability for Microwave Access» — «Глобальный доступ при помощи микроволновой связи») — группа стандартов IEEE 802.16¹.

Наряду с указанными стандартами на ВСМ, в том числе, для внутрипоездной связи и

обеспечения доступа пассажиров к сети Интернет, используются такие технологии радиосвязи, как:

— DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications (standard) — Усовершенствованный стандарт цифровой беспроводной связи;

— Bluetooth² — группа стандартов IEEE 802.15;

— Wi-Fi³ — группа стандартов IEEE 802.11 и др.

В последние десятилетия важным направлением развития связи на объектах ВСМ, наряду с решением вопросов организации движения и обеспечения безопасности на ВСМ, подробно рассмотренных в предыдущих параграфах данной главы,

¹ По данным The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. — Института инженеров по электротехнике и электронике (США).

² Bluetooth от англ. — Синий зуб (в честь короля Харальда I).

³ От англ. — беспроводная «верность» воспроизведения (Wireless Fidelity).

стало удовлетворение разнообразных информационных потребностей пассажиров. В условиях борьбы на рынке транспортных услуг различных перевозчиков, предоставление пассажирам устойчивой и доступной мобильной связи, включая возможность работы в Интернете, стало важным фактором выбора пассажиром того или иного транспортного оператора.

На примере организации информационного обеспечения высокоскоростных поездов «Acela» (США) рассмотрим круг вопросов информационного обеспечения, решаемых на борту поезда (рис. 11.21).

С помощью сотовых радиоканалов и спутниковой связи информация о движении поезда в реальном масштабе времени передается в национальную систему мониторинга движения поездов, а оттуда поступает в сеть Интернет на соответствующие страницы сайта железнодорожной компании и в информационные системы вокзалов по маршруту следования поездов для отображения на информационных табло и использования справочными службами.

Пассажирам в вагонах поезда предоставляется возможность подключения собствен-

ных компьютеров к сети Интернет с помощью устройств беспроводного доступа (Wi-Fi). Имеется бортовая информационная сеть для пассажиров поезда, с помощью которой передается актуальная информация о следовании по маршруту и транслируются развлекательные музыкальные и видео программы. С помощью сотовых телефонов и компьютеров пассажиры могут воспользоваться системой резервирования и продажи билетов на разные виды транспорта, бронирования гостиниц, заказа такси.

Бортовая информационная система поезда обслуживает также кассовые терминалы для совершения пассажирами покупок товаров и услуг с помощью электронных платежных средств.

Наряду с технологиями наземной радиосвязи на ВСМ также активно используются различные системы спутниковой связи (Inmarsat, Iridium, Globalstar и др.), основным преимуществом которых является обеспечение зоны обслуживания значительных размеров, а также возможность организации независимого от наземной инфраструктуры канала связи в чрезвычайных ситуациях.

Библиография

1. *Алексеев Л.Е.* Тяговые электрические машины и преобразователи. — Л.: Энергия, 1977. — 444 с.
2. *Бурков А.Т.* Электронная и преобразовательная техника: учебник для вузов ж.-д. трансп. — М., 2001. — 464 с.
3. *Вальднер С.С.* Сверхскоростной поезд. — М.: Трансжелдориздат, 1941. — 67 с.
4. *Варнавский В.Г.* Концессионный механизм партнерства государства и частного сектора. Серия «Научные доклады: независимый экономический анализ». № 146. — М.: Московский общественный научный фонд ИМЭМО РАН, 2003. — 270 с.
5. *Вейнбер Б.Л.* Движение без трения (бездоздушный электрический путь). — СПб.: Естествоиспытатель, 1914. — 56 с.
6. *Габарда Д.* Новые транспортные системы в городском общественном транспорте. — М.: Транспорт, 1990. — 216 с.
7. *Гопал К. Дюбай.* Основные принципы устройства электроприводов: пер. с англ. — М.: Техносфера, 2009. — 431 с.
8. *Гуткин Л.В., Дымант Ю.Н., Иванов П.А.* Электропоезд ЭР200. — М.: Транспорт, 1981. — 192 с.
9. *Гурьев А.И.* И какие же русские не любили быстрой езды? История обреченного проекта. — СПб.: КОСТА, 2009. — 360 с.
10. Железнодорожный транспорт. Энциклопедия / Гл. ред. Н.С. Конарев. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. — 560 с.
11. Железные дороги колеи 1520 мм. Строительно-технические нормы (СТН Ц-01—95). — М.: МПС РФ, 1995.
12. Железные дороги: общий курс / М.М. Уздин и др.; под ред. М.М. Уздина. — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Выбор, 2002. — С. 303—304.
13. *Зеленский Ю.И.* Скоростное пассажирское движение. — М.: Трансжелдориздат, 1957. — С. 72.
14. Изыскания и проектирование железных дорог: учебник для вузов / И.В. Турбин, А.В. Гавриленков, И.И. Кантор и др.; под ред. И.В. Турбина. — М.: Транспорт, 1989. — 479 с.
15. Инфраструктура линии Санкт-Петербург — Москва для высокоскоростного движения поездов. Стандарт ОАО «РЖД». — М.: ОАО «РЖД», 2007. — 178 с.
16. *Кантор И.И.* Продольный профиль пути и тяга поездов. — М.: Транспорт, 1984. — 207 с.
17. *Каргин Д.И.* Ширина железнодорожной колеи (из истории железных дорог). Ч. I // Техника и экономика путей сообщения. — 1920. — № 1. — С. 81—94; Ч. II // Там же. — № 2. — С. 79—86.
18. *Киселев И.П.* Высокоскоростной сухопутный транспорт: состояние и перспективы // Транспорт Российской Федерации. — 2010. — № 6 (31). — С. 60—66.
19. *Киселев И.П.* Высокоскоростные железнодорожные магистрали. Важнейшие характеристики, технические решения и перспективы развития // Железнодорожный транспорт. — 2011. — № 5. — С. 73—77; № 6. — С. 83—91; № 7. — С. 73—77.
20. *Киселев И.П.* История скоростных сухопутных нетрадиционных видов пассажирского транспорта // История науки и техники. — 2006. — № 8. — С. 2—12.
21. *Киселев И.П.* Монорельсовые транспортные системы на воздушной подушке // История науки и техники. — 2006. — № 9. — С. 19—26.
22. *Киселев И.П.* Прогресс высокоскоростного железнодорожного движения // История науки и техники. — 2006. — № 5. — С. 68—74; № 6. — С. 74—77; № 8. — С. 87—93.
23. *Киселев И.П.* Скоростные монорельсовые пассажирские транспортные системы с использованием магнитного подвешивания // История науки и техники. — 2006. — № 12. — С. 2—25.
24. *Киселев И.П.* Этапы развития систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи и высокоскоростное движение // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2010. — № 6. — С. 56—69.
25. *Киселев И.П., Сотников Е.А., Суходоев В.С.* Высокоскоростные железные дороги. — СПб.: ПГУПС, 2001. — С. 17.
26. *Киселев И.П., Титова Т.С.* Экологические аспекты высокоскоростного железнодорожного транспорта. — СПб.: ПГУПС, 2005. — 50 с.
27. Концепции проекта высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва — Санкт-Петербург» ВСМ 1. — М.: ОАО «Скоростные магистрали», 2011. — 47 с.

28. Котельников А.В. Электрификация железнодорожных дорог. Мировые тенденции перспективы. — М.: Интекст, 2002. — 104 с.
29. Лазарян В.А. О математическом моделировании движения поезда по переломам продольного профиля / В.А. Лазарян, Е.П. Блохин // Труды МИИТа. Вып. 444. — М., 1974. — С. 83—123.
30. Лауэр К.Б. Американские железные дороги и их эксплуатация. — М.: Трансжелдориздат, 1936. — 259 с.
31. Лемешук П.К., Ганкин Н.Б. Перспективы скоростного движения // Железнодорожный транспорт. — 1965. — № 7. — С. 7.
32. Линия на магнитном подвесе из Токио в Осаку // Железные дороги мира. — 2011. — № 8. — С. 2.
33. Лопатников Д.И. Оценка степени хозяйственного развития территории // Известия РАН. Серия географическая. — 1997. — № 2. — С. 85—88.
34. Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии. — М.: Высшая школа, 1999. — 123 с.
35. Манасарян Г.Г. Монорельсовый транспорт. — Ереван: Айастан, 1976. — 80 с.
36. Маслов Н.Н. Охрана окружающей среды на железнодорожном транспорте. — Л.: ЛИИЖТ, 1991. — С. 12.
37. Муратов Д.Г. На основе контракта жизненного цикла // Железнодорожный транспорт. — 2010. — № 6. — С. 47—49.
38. ОАО «Скоростные магистрали» представит проект развития высокоскоростного железнодорожного движения в РФ // Информационный портал «РЖД — партнер». — 9 ноября 2010.
39. Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию. Утверждено Постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87.
40. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утверждены приказом Минтранса России от 21 декабря 2010 г. № 286. — М.: Омега-Л, 2012. — 173 с.
41. Правила технической эксплуатации железных дорог Союза ССР. МПС СССР. — М.: Транспорт, 1970. — 120 с.
42. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 4 июня 2012 г. № 162 «О внесении изменений в Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — №36, 3 сентября 2012 г. — С. 156—160.
43. Разъяснения о порядке применения Положения о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию. Письмо Министерства регионального развития РФ от 22.06.2009 г. № 19088. СК/08.
44. Раков В.А. Локомотивы отечественных железных дорог: 1845—1955. — 2-е изд., перераб. — М.: Транспорт, 1995. — 564 с.
45. Рогинский Н.О. Железнодорожная сигнализация и обеспечение безопасности следования поездов. В 2 вып. — М.: Транспечать, 1928. Вып. 1. — 308 с.; Вып. 2. — 293 с.
46. Скоростное движение пассажирских поездов на железных дорогах зарубежных стран // Технико-экономический обзор работы и технической оснащенности зарубежных дорог. Вып. 27. — М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1970. — 68 с.
47. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. В прошлом, настоящем и будущем. К 150-летию железнодорожной магистрали Санкт-Петербург — Москва. Т. 1. — СПб.: Информационный центр «Выбор», 2001. — 320 с.
48. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. Сооружения и устройства. Подвижной состав. Организация перевозок (обобщение отечественного и зарубежного опыта). Т. 2. — СПб.: Информационный центр «Выбор», 2003. — 448 с.
49. Сотников Е.А. Железные дороги мира: из XIX в XXI век. — М.: Транспорт, 1993. — 200 с.
50. Специальные технические условия (СТУ) для проектирования, строительства и эксплуатации новой высокоскоростной пассажирской железнодорожной магистрали «Москва — Санкт-Петербург». Согласованы решением Министерства регионального развития РФ от 28.07.2009 г. № 23683. ИП/08.
51. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877. — М., 2007. — 70 с. прил.

52. Строительно-технические нормы Министерства путей сообщения Российской Федерации «Железные дороги колеи 1520 мм» СТН Ц-01—95. — М., 1995. — С. 5.
53. *Суходоев В.С.* Станции высокоскоростных и скоростных железных дорог. — СПб: ПГУПС, 1999. — 130 с.
54. Технический регламент о безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта. Утвержден постановлением Правительства РФ от 15.07.2010 г. № 533 // Собрание законодательства РФ. — 26.07.2010 г., № 30. — С. 4106.
55. Токосъем и тяговое электроснабжение при высокоскоростном движении на постоянном токе: сб. научн. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / Под. ред. Н.В. Мироноса, П.Г. Тюрина. — М.: Интекст, 2010. — 192 с.
56. Указ Президента Российской Федерации от 16 марта 2010 г. № 321 «О мерах по организации движения высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации» // Российская газета— 2010, 19 марта.
57. *Ульянов А.А., Емец В.А., Куренков П.В.* Экономическая оценка организации высокоскоростного сообщения по направлению Москва — Самара // Экономика железных дорог. — 2010. — № 11. — С. 11—23.
58. Федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ (ред. от 28.07.2012 г.) // Российская газета. — 2002. — № 245 от 31 декабря.
59. *Циолковский К.Э.* Сопротивление воздуха и скорый поезд. — Калуга, 1927. — 54 с.
60. *Шотлендер Я.В.* История паровоза за сто лет: 1803—1903. — СПб.: Тип. Кушнерев, 1905. — 440 с.
61. Электрифицированные железные дороги России (1929—2004 гг.) / Под общ. ред. П.М. Шилкина. — М.: Интекст, 2004. — 336 с.
62. Электрические железные дороги: учебник для вузов ж.-д. транспорта / В.А. Кисляков, А.В. Плакс, В.Н. Пупынин и др.; под ред. А.В. Плакса и В.Н. Пупынина. — М.: Транспорт, 1993. — 281 с.
63. Электроподвижной состав с электрическим торможением: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.Н. Жуликов, Ю.М. Иньков, Л.Г. Козлов и др.; под ред. Ю.М. Инькова и Ю.И. Фельдмина. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 412 с.
64. *Allen G.F.* The world's fastest trains from age of steam to the TGV. — 2-nd ed. — Sparkford: Patrick Stephens Limited, 1992. — 192 p.
65. AVE Construyendo futuro. — Madrid: Alta Velocidad Española, 1991. — 326 p.
66. Commission Decision 2001/260/EC of 21 March 2001 on the basic parameters of the command-control and signaling subsystem of the trans-European high-speed rail system referred to as «ERTMS characteristics» in Annex II (3) to Directive 96/48/EC [Official Journal L 93 of 03.04.2001].
67. Commission Decision 2008/163/EC of 20 December 2007 concerning the technical specification of interoperability relating to safety in railway tunnels in the trans-European conventional and high-speed rail system [Official Journal L 64 of 7.3.2008].
68. Commission Decision 2008/164/EC of 21 December 2007 concerning the technical specification of interoperability relating to persons with reduced mobility in the trans-European conventional and high-speed rail system [Official Journal L 64 of 7.3.2008].
69. Commission Decision 2008/217/EC of 20 December 2007 concerning a technical specification for interoperability relating to the infrastructure sub-system of the trans-European high-speed rail system [Official Journal L 77 of 19.3.2008].
70. Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation Maintenance / by Friedrich Kiessling, Rainer Puschmann, Axel Schmieder, Egid Schneider. — Erlangen, Publicis Publishing, 2009. — 994 p.
71. *Cooper B.* Intercity 125. The World's Fastest Diesels. — Shepperton: Ian Allan Ltd., 1987. — 80 p.
72. *Fletcher M., Taylor J.* Railways: The Pioneer Years. — London: Chartwell Books Inc., 1990. — 320 p.
73. High Speed lines in the World — UIC High Speed Department Updated 1st July 2012.
74. High speed rail: Fast track to sustainable mobility // UIC: Paris, 2012. — 36 p.
75. *Hollingsworth B.* Steam Passenger Locomotives. — London: Tiger Books International PLC, 1982. — 208 p.
76. *Hollingsworth B., Cook A.* The great book of trains. — London: Tiger Book International, 1987. — 414 p.

77. *Hughes M.* Rail 300: The world high speed train race. — London: David & Charles, 1988. — 192 p.
78. ICE. High-tech on rails. — Darmstadt: Hestra-Verlag, 1986. — 176 p.
79. *Knopperts W.* // Материалы презентации докладов на Всемирном конгрессе по высокоскоростному железнодорожному движению. — Амстердам, 2008.
80. *Lacôte F.* High-speed Trains and the environment. Third World Congress on High-speed Rail. — Berlin, 1998. — P. 231.
81. *Marshall J.* The Guinness railway fact book. — Enfield: Guinness Publishing, 1994. — 192 p.
82. *Nakazawa Ni.* Approach of JR Central on global environmental issues // Japanese Railway Engineering. — 2002. — № 148. — P. 5
83. Necessities for future high speed rolling stock / Report. — Paris: UIC, 2010. — 42 p.
84. *Patterson J.* Air emission reductions from aviation // Third World Congress Third World Congresson High-speed Rail. — Berlin. 1998. — P. 232.
85. *Pyrgidis Ch.* High-speed lines and the environment // Rail Engineering International. 1993. № 4. — p. 13—17.
86. Reducing the external costs of transport. International Union of Railways. — Paris, 1995. — P. 6.
87. *Takagi R.* High-speed Railways. The Last 10 Years // Japan Railways & Transport Review. — 2005. — № 3. — P. 4—7.
88. The Oxford Companion to British Railway History / Edited by Jack Simmons & Gordon Biddle. Oxford University Press, 1997. — 592 p.
89. V150: Le train de l'excellence. — Saint-Ouen, 2007. — 108 p.
90. *Yokoyama A.* Infrastructure for high speed lines in Japan // International Practicum on Implementing High Speed Rail in United States. — UIC, APTA, б. м., б. г.

Источники иллюстраций

Блажско Л.С.: 6.7, 6.10, 6.58, 6.59, 6.60; *Бурков А.Т.*: 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7, 10.10, 10.19, 10.20, 10.22, 10.23, 10.24, 10.26, 10.27, 10.28, 10.32а, 10.33, 10.34, 10.37, 10.38, 10.39, 10.40, 10.41, 10.42, 10.43, 10.49; *Бушуев Н.С.*: 5.3, 5.4, 5.5, 5.6; Восточная японская железнодорожная компания (East Japan Railway Company): 3.12, 3.16, 3.18; *Гурьев А.И.* И какие же русские не любили быстрой езды? История обреченного проекта. — СПб.: КОСТА, 2009: 5.2; Защита населения от повышенного шумового воздействия // Сборник докладов Второй всероссийской конференции. — СПб., 2009: 3.11; Западная японская железнодорожная компания (West Japan Railway Company): 6.28; *Киселев И.П.*: 1.19, 1.22, 1.28, 1.29, 1.30, 1.31, 1.32, 1.33, 2.5, 2.7, 2.8, 2.14, 3.2, 3.4, 3.12, 3.13, 3.16, 3.18, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 5.1, 6.1, 6.7, 6.10, 6.28; 8.8, 8.9, 8.12, 8.23, 8.34, 10.7, 10.9, 10.10, 10.16, 10.19, 10.21, 10.22, 10.23, 10.28, 10.32, 10.35, 10.36, 10.37, 10.51, 10.52, 11.5, 11.6, 11.7а, 11.8а, 11.19, 11.21; *Кубо С.*: 8.6; Международный союз железных дорог: 3.2, 3.4, 3.7, 4.4, 4.5, 4.6, 6.3, 8.1, 8.7, 11.3; Министерство железных дорог КНР: 1.23, 3.15, 8.3, 8.13; *Никитин А.Б.*: 11.1, 11.2, 11.13, 11.14, 11.15, 11.16, 11.17, 11.18; ОАО «Российские железные дороги» 1.32; ОАО «Скоростные магистрали» 1.33; Российский государственный архив экономики: 2.4; Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт: в 2 т. Т.1. — СПб.: Выбор, 2001: 1.1, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 1.16, 1.17, 1.18, 1.26, 1.27; Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт: в 2 т. Т.2. — СПб.: Выбор, 2003: 2.11, 2.12, 6.6, 6.17, 6.52в, 6.53, 8.15, 8.23, 9.3, 9.4, 9.5, 9.7, 10.8, 10.11, 10.12, 10.13, 10.14, 10.15; Скоростные железные дороги Японии: Синкансен / Т. Тосихико, К. Сатоси, И. Есио и др. / Пер. с японск. под ред. В.Г. Альбрехта. — М.: Транспорт, 1984: 6.27, 10.21, 10.44; *Соколова С.А.* Повышение скоростей движения на железных дорогах (до середины XIX века). История машиностроения // Труды Ин-та истории естествознания и техники Акад. наук СССР. Т. 45. — М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. 1.2; *Суходоев В.С.*: 9.1, 9.2, 9.6; *Фролов Ю.С.* Тоннели на высокоскоростных железнодорожных магистралях // Транспорт РФ. 2010, №1 (26): 8.25, 8.44; Центральная японская железнодорожная компания (Central Japan Railway Company): 3.3, 3.13, 3.14, 3.17, 6.9, 6.26, 8.36, 10.9, 10.16, 10.17; Центральный музей железнодорожного транспорта РФ: 2.5; Японская железнодорожная компания Кюсю (Kyushu Railway Company): 6.29, 6.30, 10.53, 11.4, 11.7д; ADIF // Презентация доклада на Российско-испанском семинаре по проблемам ВСМ. Москва, 2011: 6.5.а, 6.54, 10.46; *Allen G.F.* The world's fastest trains from age of steam to the TGV. — 2-nd ed. — Sparkford: Patrick Stephens Limited, 1992:

1.3; Alstom / Альстом в России / <http://www.hsrail.ru/abouthsr/trains/> 1.20; Ansaldo STS/ Презентация доклада на Российско-итальянском семинаре по ВСМ. Москва, 2011: 10.306; AVE Construyendo futuro. — Madrid: Alta Velocidad Española, 1991: 6.8, 6.52a, б, 6.56, 8.4, 10.18, 10.50, 11.86; Bögl: 6.35, 6.36, 6.37; 6.38, 6.39, 6.40, 6.41, 6.42; DB AG: 6.13, 6.14, 10.29a; *Feldwisch W.* High Speed Rail in Practice. New projects in Germany // Презентация доклада на Всемирном конгрессе по высокоскоростному железнодорожному движению. — Амстердам, 2008: 8.17; *Fletcher M., Taylor J.* Railways: The Pioneer Years. — London: Chartwell Books Inc., 1990: 1.4, 1.5, 1.6, 2.1; *Gago V.* New Design Criteria for Spanish HS Network Extension // Презентация доклада на Всемирном конгрессе по высокоскоростному железнодорожному движению. — Амстердам, 2008: 8.42; *Glover M.* Channel Tunnel Rail Link (CTRL) // Презентация доклада на Всемирном конгрессе по высокоскоростному железнодорожному движению. — Амстердам, 2008: 8.10, 8.24; High Speed in the Low Land. — Zoetemeer: InfraSpeed, 2006: 3.19, 8.39, 8.40, 8.41, 11.7в, г, 11.10; High Speed Rail. Fast track to sustainable mobility. — Paris: UIC, 2010: 1.25, 3.2, 3.4; ICE. High-tech on rails. — Darmstadt: Hestra-Verlag, 1986: 8.11, 8.19; *Kießling F., Puschmann R., Schmieder A.* Contact Lines for Electric Railways. — Erlangen: Siemens: 10.35, 10.36, 10.51, 10.52; *Knopperts W.* Evaluating the Model for Risk-sharing and the Role of Private Funding in Infrastructure // Презентация доклада на Всемирном конгрессе по ВСМ. — Амстердам, 2008: 8.5; *Mccampbell L.* Recent Developments in on Board Systems. — Amtrak, U S // Презентация доклада на Всемирном конгрессе по ВСМ. — Филадельфия, 2012: 11.21; ÖBB — Porr: 6.43, 6.44, 6.45, 6.46, 6.47; *Pathmanoharan A.* Taiwan High Speed Line, precursor of Asian High Speed / Презентация доклада на Всемирном конгрессе по ВСМ. — Амстердам, 2008: 6.51, 6.55; *Pérez-Fabregat L. M. H. S. L. in Spain* / Презентация доклада на Всемирном конгрессе по ВСМ. — Амстердам, 2008: 8.2, 8.45; Plasser & Theurer: 6.5; RAIL. ONE GmbH: 6.31, 6.32, 6.33, 6.34; RENFE – ADIF: 6.1, 6.11, 6.12, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21, 6.22, 6.50, 7.1, 7.3, 8.22, 8.43, 10.25, 11.7.6; *Salemme A.* The status of High Speed / High Capacity projects in Italy // Презентация доклада на Всемирном конгрессе по ВСМ. — Амстердам, 2008: 8.14; Siemens AG: 10.30 а, 11.6, 11.9, 11.11, 11.12; SNCF: 3.5, 3.6, 3.8, 3.9, 3.10, 3.20, 6.2a, 6.4, 6.15, 6.16, 6.23, 8.16, 8.31, 8.32, 8.33, 10.296, 10.31, 10.45, 10.47, 10.48; Sonnevile AG: 6.48, 6.49; *Tanaka A.* Coexisting and Mutual Prosperity with the Regions on the Sanyo Shinkansen Line // Презентация доклада на Всемирном конгрессе по ВСМ. — Амстердам, 2008: 8.34, 8.35; www.aernav.free.fr/Galerie/I80_HV_1.html: 2.9; www.freelibs.com/news/12162: 8.28; www.forum.amadeus-project.com/lofiversion/index.php/t2614.html; <http://pandadao.livejournal.com/56270.html>: 2.3; www.impactlab.net/wp-content/uploads/2010/10/skyway.jpg Skyway: 2.66; www.islamnews.ru/news-136482.html: 8.30a; www.impactlab.net/2010/10/30/futuristic-monorails-from-the-past: 2.2; www.kaluga.barahla.net/goods/91/5235503.html: 6.2a; www.masterovoi.ru/pjerspektivnyje-matjerialy-gjeotjekstil-gjeorjeshjetka-gjeosjetka: 6.26; www.profi-forex.org/auto/entry1008127725.htm: 3.1; www.ptatransitauthority.blogspot.ru/2009/10/alweg-monorail.html. Монорельсовые дороги: 2.6a; www.transrapid.de/cgi-tdb/en/basics.prg?a_no=19: 2.10; www.wikimapia.org/24582427/ru/ Готардский-базисный-тоннель: 8.26; www.wikimapia.org/25136859/ru/ Тоннель-Мармарай: 8.306; www.wikipedia.org/wiki/File:Rail_gauge_world.png?uselang=ru: 7.2; www.wikipedia.org/wiki/Channel_Tunnel: 8.37, 8.38; www.wikipedia.org/wiki/File:GBT_MFS_Faido_TV-WS.jpg: 8.27; www.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:NEAT_Gotthardachse.png: 8.20; www.wikipedia.org/wiki/File:GSM-R-Station.jpg: 11.19; www.wikipedia.org/wiki/File:GSM-R-Station.jpg: 11.20; www.wikipedia.org/wiki/File:JRE-TEC-E5_omiya.JPG: 1.24; www.wikipedia.org/wiki/File:JR-Maglev-MLX01-901_001.jpg: 2.13; www.wikipedia.org/wiki/File:Netherlands_HSL_South1.jpg: 8.21; *Yokoyama A.* Infrastructure for high speed lines in Japan // International Practicum on Implementing High Speed Rail in United States. — UIC, APTA, б. м., б. г.: 6.6.6, 6.24, 6.25; *Zabee J.C.* High Speed Rail in Practice-Recent Achievements in Europe // Презентация доклада на Всемирном конгрессе по ВСМ. — Амстердам, 2008: 1.21; 8.18, 8.29.

Авторы



Людмила Сергеевна Блажко — инженер путей сообщения (Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта — ЛИИЖТ), кандидат технических наук (1986 г.), доктор технических наук (2004 г.); специалист в области взаимодействия пути и подвижного состава, строительства железных дорог, верхнего строения пути, технических устройств высокоскоростного железнодорожного транспорта; участник разработки проектов, связанных с высокоскоростным железнодорожным транспортом и рельсовыми транспортными системами с высокими и сверхвысокими осевыми нагрузками; профессор, заведующая кафедрой «Железнодорожный путь» Петербургского государственного университета путей сообщения, проректор по учебной работе (ПГУПС); автор десятков научных трудов, учебников и учебных пособий.



Анатолий Трофимович Бурков — инженер путей сообщения (Томский электромеханический институт инженеров железнодорожного транспорта, 1958 г.); кандидат технических наук (1964 г.), доктор технических наук (1982 г.); специалист в области электрификации железных дорог, электрического тягового привода, силовых электрических преобразовательных систем, высокоскоростного железнодорожного транспорта; участник разработки проектов электрификации железных дорог, создания нового тягового электрического подвижного состава, в том числе — для ВСМ; профессор кафедры «Электроснабжение железных дорог» ПГУПС; заведующей этой кафедрой (1977—2010 гг.); автор десятков научных трудов, учебников и учебных пособий.



Николай Сергеевич Бушуев — инженер путей сообщения (ЛИИЖТ, 1976 г.), кандидат технических наук (1984 г.); специалист в области изысканий и проектирования железных дорог, высокоскоростных магистралей; участник разработки проектов новых железных дорог и ВСМ; профессор кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог» ПГУПС; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Валентин Александрович Гапанович — инженер путей сообщения (Новосибирский институт инженеров железнодорожного транспорта, 1992 г.), выпускник Академии народного хозяйства при Правительстве РФ (1998 г.), кандидат технических наук (2012 г.); специалист в области управления процессами перевозок на железнодорожном транспорте, высокоскоростного железнодорожного транспорта; главный инженер Октябрьской железной дороги (2000–2003 гг.), вице-президент, старший вице-президент ОАО «РЖД»; руководитель и участник ряда крупных проектов, связанных с модернизацией железных дорог страны, организацией высокоскоростного железнодорожного движения в РФ; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.

Игорь Павлович Киселев — инженер путей сообщения (ЛИИЖТ, 1971 г.), кандидат философских наук (1997 г.), доктор исторических наук (2012 г.); специалист в области СЦБ и связи, высокоскоростных транспортных систем, истории транспорта; директор по международным связям Российского открытого акционерного общества «Высокоскоростные магистрали» — РОО «ВСМ» (1991—2006 гг.); участник разработки проектов, связанных с высокоскоростным железнодорожным транспортом в России; профессор кафедры управления и технологии строительства ПГУПС и профессор кафедры истории ПГУПС; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Валерий Иванович Ковалев — инженер путей сообщения (ЛИИЖТ, 1981 г.), кандидат технических наук (1998 г.), доктор технических наук (2004 г.); профессор; специалист в области управления процессами перевозок на железнодорожном транспорте, высокоскоростного железнодорожного транспорта; заместитель начальника Октябрьской железной дороги (1994—1995 г.), начальник Приволжской железной дороги (1995—1997 г.); заместитель, первый заместитель министра путей сообщения РФ (1997—1999 г.); ректор ПГУПС (1999—2013 г.); организатор и участник разработки ряда крупных железнодорожных проектов; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Александр Петрович Ледяев — инженер-строитель (ЛИИЖТ, 1967 г.), кандидат технических наук (1978 г.), доктор технических наук (1996 г.), специалист в области строительства тоннелей и метрополитенов; профессор, заведующий кафедрой тоннелей и метрополитенов, первый проректор ПГУПС; Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации; участник разработки крупных транспортных проектов по освоению подземного пространства; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Александр Борисович Никитин — инженер путей сообщения—электрик (ЛИИЖТ, 1984 г.), кандидат технических наук (1989 г.), доктор технических наук (2005 г.); специалист в области компьютерных систем оперативного управления движения поездов, автор ряда разработок микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики, в том числе и для высокоскоростного железнодорожного транспорта; профессор кафедры автоматики и телемеханики на железных дорогах и руководитель Центра компьютерных железнодорожных технологий ПГУПС; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Павел Андреевич Плеханов — инженер путей сообщения (ПГУПС, 2007 г.), кандидат технических наук (2013 г.); специалист в области железнодорожной электросвязи, организации систем управления и безопасности на обычном и высокоскоростном железнодорожном транспорте; доцент кафедры радиотехники ПГУПС; автор научных работ и учебных пособий.





Валерий Михайлович Саввов — инженер путей сообщения (ЛИИЖТ, 1967 г.), кандидат технических наук (2002 г.); специалист в области электроснабжения железных дорог, высокоскоростного подвижного состава и высокоскоростного железнодорожного транспорта; главный инженер Октябрьской железной дороги (1988—1992 гг.), первый заместитель генерального директора РОАО «Высокоскоростные магистрали» (1992—2011 гг.); профессор кафедры электроснабжения железных дорог ПГУПС (с 2005 г.); участник разработки проектов ВСМ в РФ и нового электроподвижного состава; лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Владимир Николаевич Смирнов — инженер-строитель (ЛИИЖТ, 1963 г.), кандидат технических наук (1983 г.), доктор технических наук (1998 г.); специалист в области проектирования, управления строительством мостов и работы мостовых сооружений в условиях высокоскоростного железнодорожного движения; профессор и заведующий кафедрой мостов ПГУПС; участник разработки проектов, связанных с высокоскоростным железнодорожным движением; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Юрий Игоревич Соколов — инженер-экономист (Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), 1998 г.), кандидат экономических наук (2000 г.), доктор экономических наук (2008 г.); специалист в области экономики железнодорожного транспорта, управления качеством и маркетинга на транспорте; профессор кафедры экономики и управления на транспорте МИИТ; руководитель и участник ряда проектов, связанных с научным сопровождением программ развития железнодорожного транспорта, автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Виталий Семенович Суходоев — инженер путей сообщения (ЛИИЖТ, 1958 г.), кандидат технических наук (1968 г.); специалист в области проектирования железных дорог, железнодорожных узлов и станций, высокоскоростного железнодорожного транспорта; профессор кафедры железнодорожных станций и узлов ПГУПС; участник разработки проектов новых железнодорожных станций, ВСМ в России; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Тамила Семеновна Титова — инженер-электромеханик (Северо-западный заочный политехнический институт), кандидат технических наук (1993 г.), доктор технических наук (2005 г.); специалист в области систем электроснабжения, техносферной и экологической безопасности; профессор и заведующая кафедрой техносферной и экологической безопасности, проректор по научной работе ПГУПС; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Юрий Степанович Фролов — инженер-строитель (Новосибирский институт инженеров железнодорожного транспорта, 1961 г.), кандидат технических наук (1972 г.), доктор технических наук (1995 г.); специалист в области сооружения тоннелей и метрополитенов; профессор кафедры тоннелей и метрополитенов ПГУПС; участник разработки транспортных проектов по освоению подземного пространства; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.

Оглавление

Введение	3
Глава 1. ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ И ЕГО МЕСТО В СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ	7
1.1. Предыстория высокоскоростного железнодорожного транспорта	7
1.2. Классификация железных дорог и максимальная скорость движения поездов	17
1.3. Зарождение и развитие современного высокоскоростного железнодорожного транспорта.....	20
1.4. Основные этапы становления и перспективы развития скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта в России.....	26
Глава 2. МОНОРЕЛЬСОВЫЙ СКОРОСТНОЙ И ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ТРАНСПОРТ.....	34
2.1. Первоначальный этап развития монорельсовых транспортных систем в XIX — начале XX столетия.....	34
2.2. Развитие конструкций монорельсовых транспортных систем во второй половине XX столетия.....	37
2.3. Монорельсовые транспортные системы с экипажами на магнитном подвешивании	40
Глава 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СООРУЖЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ.....	46
3.1. Исторический очерк экологии транспортных систем	46
3.2. Сравнение экологии транспортных систем.....	47
3.3. Снижение шума — основная задача улучшения экологических характеристик высокоскоростных железных дорог	56
Глава 4. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ СООРУЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	66
4.1. Основные социально-экономические факторы, определяющие спрос на высокоскоростные пассажирские перевозки.....	66
4.2. Взаимодействие и конкуренция отдельных видов транспорта в условиях открытого рынка транспортных услуг. Место высокоскоростных железных дорог на рынке пассажирских перевозок.....	69
4.3. Источники финансирования и механизмы реализации проектов ВСМ	79
4.4. Социально-экономическая эффективность сооружения высокоскоростных железных дорог	84
Глава 5. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	90
5.1. Основные концептуальные подходы к созданию высокоскоростных железнодорожных магистралей	90
5.2. Общие требования к инфраструктуре высокоскоростных железнодорожных линий	92
5.3. Общие принципы разработки и состав проектов железных дорог	94
5.4. Нормативная документация	95
5.5. Особые требования к проектам ВСМ	97
5.6. Основные технические параметры и решения ВСМ.....	97
5.7. Выбор принципиального направления и положения трассы ВСМ.....	99
5.8. Основные элементы плана линии и условия их проектирования	102
5.9. Элементы продольного профиля и требования к их проектированию	108
5.10. Трассирование ВСМ.....	113
5.11. Основные критерии оценки трассы ВСМ.....	114
Глава 6. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ.....	116
6.1. Основные требования к земляному полотну вновь сооружаемых ВСМ	116
6.2. Рельсы и рельсовые скрепления ВСМ	118
6.3. Конструкции верхнего строения пути на балласте на ВСМ.....	122

6.4. Безбалластные конструкции железнодорожного пути ВСМ.....	131
6.5. Стрелочные переводы, применяемые за рубежом для скоростного и высокоскоростного движения.....	148
6.6. Стрелочные переводы, используемые для высокоскоростного железнодорожного движения в России.....	155
Глава 7. ПРОБЛЕМЫ СОВМЕСТИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВСМ С РАЗЛИЧНОЙ ШИРИНОЙ КОЛЕИ.....	159
7.1. Краткий исторический очерк происхождения разных стандартов ширины колеи железных дорог и влияние ширины колеи на скорость движения.....	159
7.2. Выбор ширины колеи для ВСМ и совместная эксплуатация магистралей с различной шириной колеи.....	162
Глава 8. ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЯХ.....	164
8.1. Особенности устройства искусственных сооружений на высокоскоростных железнодорожных магистралях.....	164
8.2. Основные требования к проектированию мостов на высокоскоростных магистралях.....	169
8.3. Конструкции мостов на высокоскоростных магистралях.....	170
8.4. Общие сведения о тоннелях.....	179
8.5. Особенности тоннелей на высокоскоростных линиях.....	193
Глава 9. РАЗДЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ.....	201
9.1. Размещение и путевые схемы раздельных пунктов на ВСМ.....	201
9.2. Классификация и схемы раздельных пунктов ВСМ.....	206
9.3. Раздельные пункты в местах разветвления и соединения высокоскоростных линий.....	209
Глава 10. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ.....	210
10.1. Системы электрической тяги и устройства электроснабжения.....	210
10.2. Режимы движения и особенности тяговых расчетов при определении нагрузок на устройства электроснабжения высокоскоростных линий.....	214
10.3. Требования к устройствам электроснабжения высокоскоростных линий.....	218
10.4. Способы усиления системы тягового электроснабжения.....	218
10.5. Критерии выбора параметров сети тягового электроснабжения.....	224
10.6. Динамика высокоскоростной контактной сети.....	226
10.7. Питание тяговых подстанций и секционирование электротяговой сети.....	232
10.8. Тяговые подстанции и линейные устройства.....	239
10.9. Контактная сеть.....	243
10.10. Обеспечение надежного токосъема при высокоскоростном движении.....	253
10.11. Строительно-монтажные работы при электрификации ВСМ.....	260
Глава 11. АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ НА ВСМ.....	266
11.1. Системы автоматики, телемеханики и связи на ВСМ, общие требования.....	266
11.2. Особенности приборного и аппаратного обеспечения устройств СЦБ.....	269
11.3. Средства регулирования движения поездов на перегонах.....	278
11.4. Станционные устройства автоматики и телемеханики. Диспетчерская централизация на ВСМ.....	283
11.5. Европейская единая система управления движением поездов.....	284
11.6. Организация связи на ВСМ.....	290
Библиография.....	297
Источники иллюстраций.....	301