

656.2
893

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

ОБЩИЙ КУРС

Том 2



ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Общий курс

Том 2

**Под редакцией
И.П. Киселёва**

ФГБОУ ВПО
Ростовский государственный
университет путей сообщения
Научно-техническая библиотека

**Москва
2014**

От авторов

Во втором томе учебного пособия раскрываются особенности устройства высокоскоростного железнодорожного подвижного состава, дано описание механической части, электропневматического и тормозного оборудования, устройств жизнеобеспечения и систем управления; общие принципы организации эксплуатационных депо для высокоскоростных поездов, приведены особенности технологического процесса их обслуживания, показанного на иллюстрациях и конкретных примерах.

Авторы исходят из того, что в настоящее время создано четвертое поколение высокоскоростных поездов. Отметим, что под поколениями в технике понимаются стадии развития устройств, машин, механизмов одного функционального назначения, отличающиеся друг от друга скачкообразными улучшениями характеристик. Смена поколений в технике обуславливается началом применения новых технических идей, лучших конструкций, материалов, технологических приемов и т.п. Говоря о поколениях железнодорожной техники, прежде всего, связываем их с переходом от паровой тяги к электрической и двигателям внутреннего сгорания. Поколения подвижного состава, например, вагонов, характеризуются эволюцией от деревянных конструкций рам и кузовов к частично металлическим, а затем — цельнометаллическим, кардинальным улучшением ходовой части и др.

Смена поколений высокоскоростного подвижного состава определяется развитием конструкции важнейших элементов, обусловивших увеличение максимальной скорости движения, сокращение удельного расхода электроэнергии, повышение комфорта проезда пассажиров, снижение шумового загрязнения и т.д.

Возникновение первого поколения высокоскоростных поездов связано со сменой парадигмы — модели решения проблемы высокоскоростного железнодорожного движения. До создания первой в мире ВСМ Токио—Осака высокоскоростное движение в технически развитых странах того времени — Великобритании, Италии, СССР, США, Франции, ФРГ осуществлялось по обычным магистральным железным дорогам со смешанным движением поездов разных категорий как по своей массе, так и по скорости. Эксплуатация первой в мире ВСМ «Токайдо Синкансэн» показала, что только *специализированная железная дорога*, предназначенная исключительно для *специального подвижного состава*, позволяет организовать массовые безопасные перевозки пассажиров со скоростью 200 км/ч и выше.

Первое поколение высокоскоростных поездов было, по большому счету, более качественным исполнением известных к тому времени конструкций. Кузова вагонов — из низколегированных сталей, коллекторные тяговые двигатели постоянного тока, электро-механические релейные системы управления и т.п. Естественно, на практике четкую границу между поколениями провести не всегда представляется возможным, поскольку создаются и переходные виды технических устройств, в которых используются компоненты, принадлежащие к разным поколениям. Тем не менее, на протяженном отрезке времени поколения технических устройств вполне выделяются.

Оценивая развитие высокоскоростного железнодорожного подвижного состава за последнее пятилетие, можно отметить следующее. Рекорд скорости 574,8 км/ч, установленный 3 апреля 2007 г. французским опытным поездом V150, задал новый формат соотношения рекордной скорости движения высокоскоростных поездов и максимальной скорости в коммерческой эксплуатации. Помимо градаций «скоростное» и «высокоскоростное» дви-

жение все чаще употребляются определения «сверхскоростное» (более 350 км/ч) и «ультраскоростное» (более 400 км/ч).

В последнее пятилетие в эксплуатацию были введены первые сверхскоростные поезда — поезд AGV компании Alstom и китайские поезда CRN380.

В процессе повышения скорости одной из главных задач стало снижение подвижным составом энергопотребления и генерируемого им шума. При этом было подтверждено, что основным источником шума являются токоприемники, поэтому усилия ведущих производителей подвижного состава сосредоточены именно в этих направлениях. Мировые тенденции развития высокоскоростного подвижного состава и инфраструктуры ВСМ показывают, что на ближайшие 10—15 лет максимальная скорость в коммерческой эксплуатации скорее всего не превысит 380—400 км/ч на небольшом полигоне, а в массовой эксплуатации будет держаться на уровне не более 350 км/ч.

Во втором томе рассмотрены основные проблемы обеспечения безопасности высокоскоростного движения в комплексе мероприятий, учитывающих природные факторы (климатические условия, сейсмическая активность в районе прохождения трассы ВСМ и др.), а также технико-технологическое обеспечение и защиту высокоскоростных магистралей от несанкционированных внешних воздействий, включая террористические проявления. Отдельно рассмотрен комплекс вопросов, связанных с подготовкой персонала для ВСМ.

Детально представлен процесс управления движением поездов на высокоскоростных магистралях. Показано, что при простоте эксплуатационной схемы организации движения поездов (челночный характер, практически без переформирования составов в процессе следования) определенные трудности в организации и управлении движением, а также всей деятельностью ВСМ, создает высокая интенсивность перевозочного процесса, сопоставимая с системами метрополитена в крупных городах. На отдельных ВСМ в сутки обращается до 150 пар поездов и более при максимальной скорости движения до 300—350 км/ч. Показан путь развития систем управления движением от устройств СЦБ и связи (в частности, диспетчерских централизаций с использованием релейной аппаратуры) до современных комплексных автоматизированных систем управления, базирующихся на компьютерных устройствах последнего поколения.

Один из параграфов пособия посвящен обслуживанию пассажиров на ВСМ, особенностям организации пассажирской работы. На примерах крупных вокзальных комплексов Франции, Германии, Японии и других стран показано развитие вокзалов ВСМ, описано их современное состояние, путь превращения в транспортно-коммерческие и пересадочные комплексы. Представлены примеры реконструкции существующих железнодорожных вокзалов в связи с организацией высокоскоростных железнодорожных перевозок и строительства новых, рассмотрены проблемы взаимодействия различных видов транспорта, в частности создание совмещенных станций высокоскоростных железных дорог и аэропортов.

В пособии рассмотрен комплекс вопросов, связанных с проведением регулярного обследования состояния стационарных устройств ВСМ, включая использование специальных высокоскоростных инспекционно-диагностических вагонов и поездов; приведено описание сложившихся в разных странах подходов к организации обслуживания и ремонта устройств пути и других объектов инфраструктуры ВСМ.

В приложениях ко второму тому в табличной форме и в виде графиков представлены сведения о развитии высокоскоростного подвижного состава с середины прошлого столетия до наших дней.

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.

Глава 12

Понятие высокоскоростного подвижного состава

12.1. Основные принципы построения современных высокоскоростных поездов

Создание подвижного состава для высокоскоростных магистралей является сложной задачей. Несмотря на то, что железные дороги существуют более 150 лет, теорию качения колеса по рельсу и до настоящего времени нельзя считать полностью завершенной. По-прежнему перед создателями новых локомотивов и вагонов стоит немало задач, решений которых еще не найдено. При этом главная трудность заключается в необходимости комплексного подхода при проектировании, когда невыполнение даже одного из условий сводит на нет успехи в реализации остальных задач. Требования, предъявляемые к подвижному составу очевидны: обеспечить экономически эффективные перевозки, устраивающие пассажиров и общество в целом по безопасности, скорости, комфорту, при минимальном воздействии на окружающую среду. Высокая скорость движения (более 300 км/ч) требует новых технических решений традиционных задач в области локомотиво- и вагоностроения, а именно: выбор источника энергии, создание двигателя; ходовых частей; системы управления движением; кузова вагона; салона для пассажиров; систем обеспечения комфорта (рис. 12.1).

В настоящее время на высокоскоростных магистралах используется электрический подвижной состав с питанием от внешней энергосистемы (Приложение 1). Достоинства, присущие электрической тяге, привели в подобных транспортных системах к вытеснению локомотивов и поездов с автономными источниками энергии — тепловозов, дизельных поездов и подвижного состава с газотурбинными силовыми установками. Первые опытные высокоскоростные поезда на европейском континенте, в частности, построенные во Франции и в Великобритании, имели автономные источники энергии в виде газовых турбин, близких по конструкции к авиационным двигателям. Однако затем все высокоскоростные поезда стали создаваться с использованием электрической тяги со снабжением электроэнергией от контактной сети (см. Приложение 1).

Преимущественное распространение на высокоскоростных железных дорогах, начиная с первого поезда ВСМ серии 0 (ноль), Япония, 1964 г. (рис. 12.2) получили системы электрификации переменного тока с напряжением в контактном проводе 15 или 25 кВ, что позволяет значительно уменьшить величину электрического тока, передаваемого на подвижной состав, при этом снижаются тепловые потери в контактной сети.

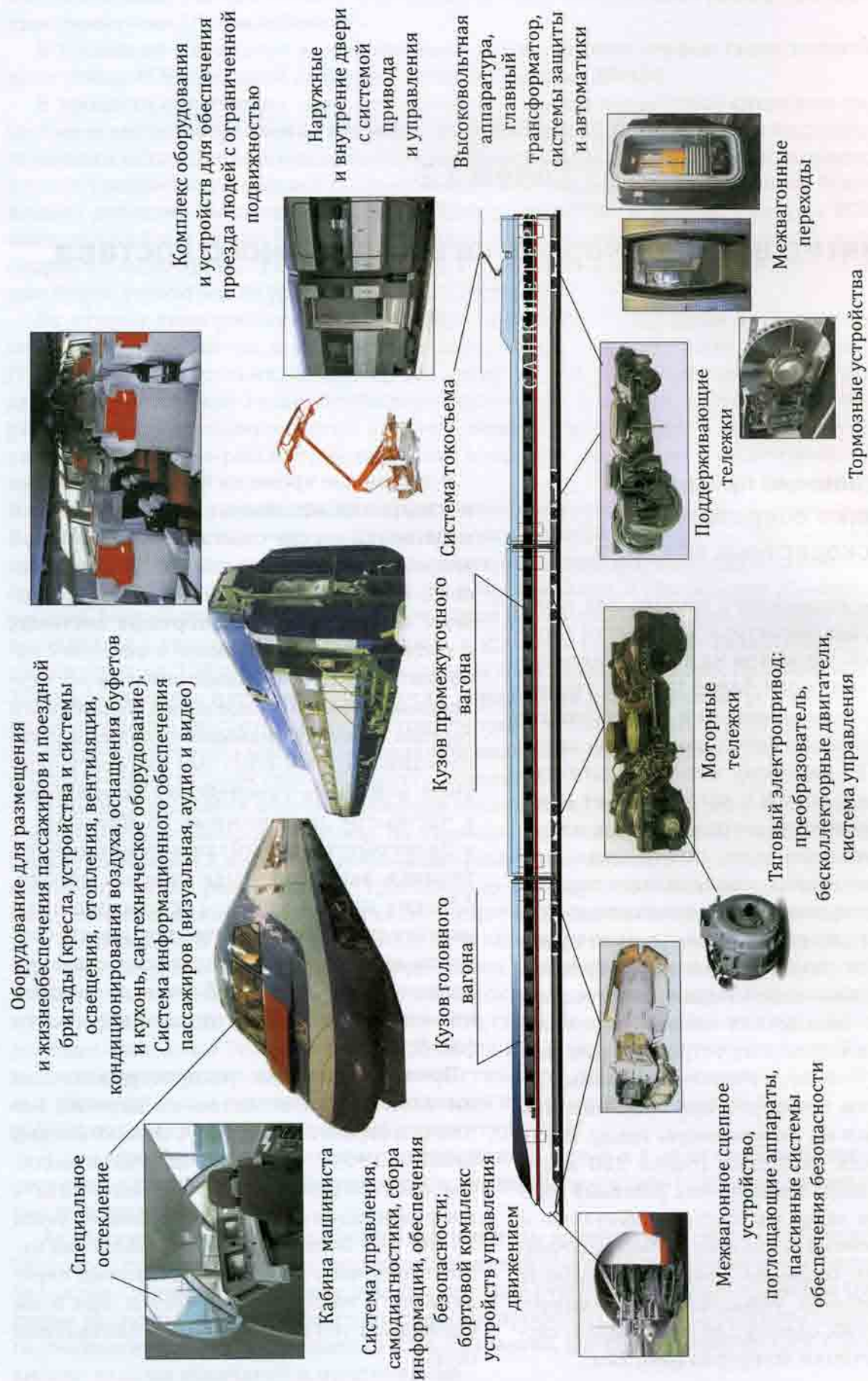


Рис. 12.1. Основные системы, узлы и агрегаты высокоскоростного поезда



Рис. 12.2. Поезд серии 0 (ноль). Конец 60-х годов XX столетия. Япония

В подавляющем большинстве на электрифицированных железных дорогах для электроснабжения подвижного состава применяют воздушный контактный провод, в то время как обратным проводом служат рельсы. Эта система вытеснила с магистральных железных дорог использование третьего токоведущего (контактного) рельса или двух фазовых контактных проводов и ходовых рельсов, служащих в качестве третьего фазового провода в трехфазных системах¹.

Место нажатия токоприемника на провод представляет собой скользящий контакт между двумя колеблющимися элементами: движущимся со скоростью 250—350 км/ч токоприемником и контактным проводом. При этом на тяговые двигатели должна передаваться мощность 10—20 МВт, для чего одного токоприемника недостаточно, а использование двух и более — ухудшает динамическое взаимодействие токоприемников и контактного провода. При вы-

соких скоростях из-за колебаний подвижного состава, контактного провода и пространства в нем бегущей поперечной волны контакт между ползком токоприемника и проводом нарушается, возникает искрение. При определенных условиях высокоскоростной поезд может догнать свою поперечную волну, распространяющуюся по контактному проводу, и током станет невозможным. В результате этих особенностей контактная сеть, устройства для токобъема высокоскоростных локомотивов и электропоездов имеют существенные отличия от тех конструкций, которые применяются на обычном электроподвижном составе. Для ВСМ необходимо рассматривать динамические процессы в системе «подвижной состав — токоприемники — контактная сеть».

Для обычного подвижного состава мощность тяговых двигателей выбирается из условия преодоления основного и дополнительного сопротивления движению поезда на расчетном (руководящем) подъеме. При расчетах главную роль играет дополнительное сопротивление от уклона. Для высокоскоростного подвижного состава основ-

¹ Участки магистральных линий с питанием от третьего контактного рельса эксплуатируются в Великобритании; трехфазная система с двумя контактными проводами была распространена в Италии.

ное значение приобретает сопротивление воздушной среды. Исследования показывают, что оно имеет две основные компоненты: пропорциональную скоростному напору воздуха, т.е. величине скорости в квадрате, и пропорциональную трению поверхностей поезда о воздух, т.е. значению скорости в первой степени. Первая составляющая определяется формой головной части первого вагона (локомотива), а вторая — суммарной площадью поверхности состава, гладкостью обшивки вагонов, количеством и конструкционным оформлением межвагонных соединений и переходов. Поезда имеют длину, во много раз превышающую величину поперечного сечения, поэтому основной компонентной для высокоскоростного подвижного состава является сопротивление от трения о воздух. В этом состоит одно из принципиальных преимуществ высокоскоростных поездов в сравнении с автомобилями и самолетами, у которых сопротивление движению пропорционально квадрату величины скорости, в то время как у поездов существенная его часть пропорциональна скорости в первой степени.

Таким образом, на высокоскоростном подвижном составе необходимо иметь двигатели, позволяющие не только обеспечить трогание с места и движение на расчетном подъеме, но и преодолевать постоянно увеличивающееся сопротивление от трения о воздух с ростом скорости. Это требует несколько меньших удельных энергетических затрат, чем у конкурирующих видов транспорта, но из-за значительной длины поездов абсолютная величина потребной мощности весьма велика. В этой связи проблема выбора двигателя оптимального типа и достаточной мощности всегда стояла перед создателями подвижного состава. На определенном этапе доминировала точка зрения, согласно которой стремились сделать двигатель как можно более мощным, в последующем основное внимание разработчиков было направлено на создание экономичных конструкций. Появились задачи увеличения надежности, упрощения технического обслуживания двигателей, сниже-

ния ущерба, наносимого окружающей среде. Решение этих задач оказалось возможным на новом этапе технического развития, когда были созданы бесколлекторные трехфазные тяговые электродвигатели, в том числе синхронные тяговые двигатели с возбуждением от постоянных магнитов. Новые двигатели сочетают высокую удельную мощность с достаточной надежностью. Однако для регулирования скорости вращения их якорей (роторов) потребовалась эффективная преобразовательная техника и сложные схемы управления, которые были реализованы на практике только в последние десятилетия XX в. В эти годы были разработаны и освоены в массовом производстве новые поколения силовых полупроводниковых приборов и микропроцессорных систем управления, созданы новые магнитные материалы. Более подробно описание применяемых в настоящее время тяговых двигателей, преобразовательной техники и систем управления тяговым приводом рассмотрено в главе 14.

Основные характеристики подвижного состава — его конструкционная скорость и сумма затрат за жизненный цикл, которые в конечном итоге определяют конкурентоспособность ВСМ по отношению к авиации и автомобильному транспорту. За прошедшие годы конструкционная скорость высокоскоростных поездов (см. табл. 12.1) увеличилась с 230 км/ч (1964 г.) до 380 км/ч (2010 г.).

Выбор величины конструкционной скорости является результатом комплексных технико-экономических сравнений капитальных вложений в путевую структуру (стационарные устройства), разработку и производство подвижного состава, эксплуатационных расходов (на содержание стационарных устройств и подвижного состава) и социально-экономической потребности в той или иной скорости на рынке транспортных услуг, причем в конкретном транспортном коридоре.

В настоящее время самая большая максимальная проектная скорость движения 350 км/ч предусмотрена на магистрали Мадрид — Барселона (Испания), а также на

Конструкционная скорость некоторых серийных высокоскоростных поездов

Год выпуска	Страна	Наименование поезда	Конструкционная скорость
1964	Япония	Серия 0 (ноль)	230
1978	Франция	TGVPSSE	270
1984	Япония	Серия 100	270
1989	Франция	TGV A	300
1989	Япония	Серия 300	285
1990	Германия	ICE1	280
1995	Япония	Серия 500	320
1997	Япония	Серия 700	285
1998	Германия	ICE3	330
2000	Германия	ICE3 для Испании (Velaro E)	350
2009	Франция	AGV	360
2009	Германия	ICE3 для России (Velaro Rus, «Сапсан»)	250
2010	КНР	CRH «Гармония 380»	380
2011	Япония	Серия E5	350



Рис. 12.3. Опытный поезд E954 Fastech 360S. Япония. 2005 г.

нескольких магистралях в КНР. Конструкционная скорость большинства поездов для ВСМ составляет 250—300 км/ч¹. Последние разработки высокоскоростного подвижного состава рассчитаны на скорость

¹ К 2010 г. в мире эксплуатировалось более сорока типов поездов, имеющих конструкционную скорость более 250 км/ч и относящихся к категории высокоскоростных.

320—380 км/ч. Самая высокая конструкционная скорость предусмотрена проектами новых поездов E954 Fastech 360S (рис. 12.3), созданных Восточной японской железнодорожной компанией, — 405 км/ч и NEMU-430X концерна Hyundai Rotem (Республика Корея) — 430 км/ч, испытания которых проводятся в настоящее время.



Рис. 12.4. Высокоскоростной поезд серии E5. Япония. 2011 г.

Однако к концу первого десятилетия XXI в. были сделаны выводы о нецелесообразности по критерию экологии (генерация шума, в частности, токоприемниками поезда) поднимать конструкционную скорость выше 320—380 км/ч. Именно на такую скорость рассчитана последняя японская разработка — высокоскоростной электропоезд серии E5 (рис. 12.4), введенный в эксплуатацию в марте 2011 г. Китайские разработчики создали в 2010 г. поезд «Гармония 380» с конструкционной скоростью 380 км/ч, предназначенный в коммерческой эксплуатации для движения с максимальной скоростью 350 км/ч. Таким образом, в настоящее время верхний предел скорости движения по ВСМ не превышает 350 км/ч.

Опыт производителей высокоскоростного подвижного состава показывает, что повышение конструкционной скорости, снижение массы (удельной массы подвижного состава), увеличение энерговооруженности не является самоцелью, а связаны с конечной задачей — повышением социально-экономической эффективности перевозок, стремлением упрочить позиции ВСМ в конкуренции с авиацией и, отчасти, автомобильным транспортом.

12.2. Концепции высокоскоростного подвижного состава

При реализации высокоскоростного подвижного состава нашли применение две концепции тягового привода: *локомотивная (сосредоточенная)* — с тяговыми двигателями, установленными на электровозах¹, которые в высокоскоростных поездах, как правило, размещаются по одному в головной и хвостовой частях поезда², и *моторвагонная (распределенная)* — с относительно равномерным размещением тяговых средств вдоль поезда (Приложение 1).

Необходимо заметить, что и в первом и во втором случаях высокоскоростные поезда являются составами постоянного форми-

¹ Иногда их (чаще всего, в иностранной литературе, называют «моторными вагонами»), что на наш взгляд принципиально неверно, поскольку в российской терминологии под моторным вагоном понимается подвижная единица, имеющая тяговый привод и места для пассажиров или груза. При локомотивной тяге высокоскоростных поездов в локомотивах (электровозах) размещается только тяговое и другое оборудование, места для пассажиров не устраиваются.

² Исключение составляют высокоскоростные поезда X 2000 (Швеция) и ICE 2 (Германия), имеющие по одному электровозу, а также поезд АРТ-Р (Великобритания), в котором два электровоза располагались в середине 12-вагонного состава.

рования; в условиях эксплуатации не переформируются; расцепляются только в депо при проведении работ по обслуживанию или для ремонта.

Все высокоскоростные поезда, построенные в Японии с начала 60-х годов XX столетия, по настоящее время являются моторвагонными. В европейских странах до недавнего времени преобладала концепция локомотивной тяги. Однако и европейские производители в новейших разработках, например, в Германии высокоскоростные поезда ICE 3 (так называемая «платформа поездов «Velaro»), поставляемых, кроме железных дорог Германии в Испанию, КНР и Россию; во Франции поезд AGV, перешли к использованию распределенной тяги. На рис. 12.5 приведены схемы формирования некоторых высокоскоростных поездов.

Переходя к рассмотрению механического оборудования высокоскоростного подвижного состава, отметим, что его ходовую часть представляют комплект тяговых (моторных) и поддерживающих тележек, обеспечивающих не только передачу вертикальной нагрузки, тяговых и тормозных сил, задание траектории движения экипажа, но и амортизацию возмущений, действующих со стороны железнодорожного пути.

Наиболее важный элемент ходовой части рельсового экипажа¹ — колесная пара. Колесо является опорой, обеспечивая необходимое расстояние между экипажем и дорогой; двигателем и элементом тормозной системы; оно задает направление движения экипажа вдоль оси пути, включая кривые участки и стрелочные переводы. В 50—70-х годах XX столетия в кругах ученых и инженеров появились представления, что колесо как двигатель, средство поддержания экипажа и задания траектории движения, — устарело (см. главу 2). С начала XX века предпринимаются попытки научно обосновать и реализовать в инженерных разработках возможность замены колеса воздушной подушкой (смазкой) или магнитным подвесом. В 50-е годы в ряде стран велись рабо-

ты по использованию на экипажах в качестве двигателей воздушного винта, газовой струи (реактивная тяга), линейных двигателей (подробно см. в главе 2). Однако ни одна из междугородных высокоскоростных транспортных систем с использованием подобных устройств для поддержания и направления движения экипажей до настоящего времени в коммерческую эксплуатацию не была введена.

Колесо не требует энергии для поддержания необходимого зазора между экипажем и поверхностью земли (путевой структурой), поэтому затраты на передвижение колесных экипажей оказываются минимальными. Иные устройства могут быть эффективными только в тех случаях, когда расходы на энергию для удержания экипажа в гравитационном поле Земли будут существенно малы по сравнению с затратами на его перемещение. Очевидно, что это может быть достигнуто только при высоких скоростях (по нашим оценкам более 500—700 км/ч).

Вместе с тем система «колесо—рельс» имеет и ряд недостатков. Невозможно сделать идеально гладким железнодорожный путь и поверхность катания колес. А для того чтобы заставить колесо катиться прямо (в прямых) и не изнашиваться (в кривых), приходится решать сложные уравнения динамики подвижного состава, по сравнению с которыми, например задачи небесной механики, — кажутся элементарными.

Для преодоления недостатков системы «колесо—рельс», особенно применительно к высокоскоростному подвижному составу, неоднократно предпринимались попытки разработать улучшенные варианты конструкции ходовой части, в частности, с независимым вращением колес; с радиальной установкой колесных пар в кривых (т.е. по радиусу кривой); с наклоном кузова вагона. Однако в силу большей сложности и стоимости по сравнению с традиционными ходовыми устройствами они не нашли пока широкого распространения на высокоскоростном подвижном составе.

На высокоскоростных линиях используется подвижной состав с разными типа-

¹ Под рельсовым экипажем понимается транспортное средство, способное перемещаться по железнодорожным путям.

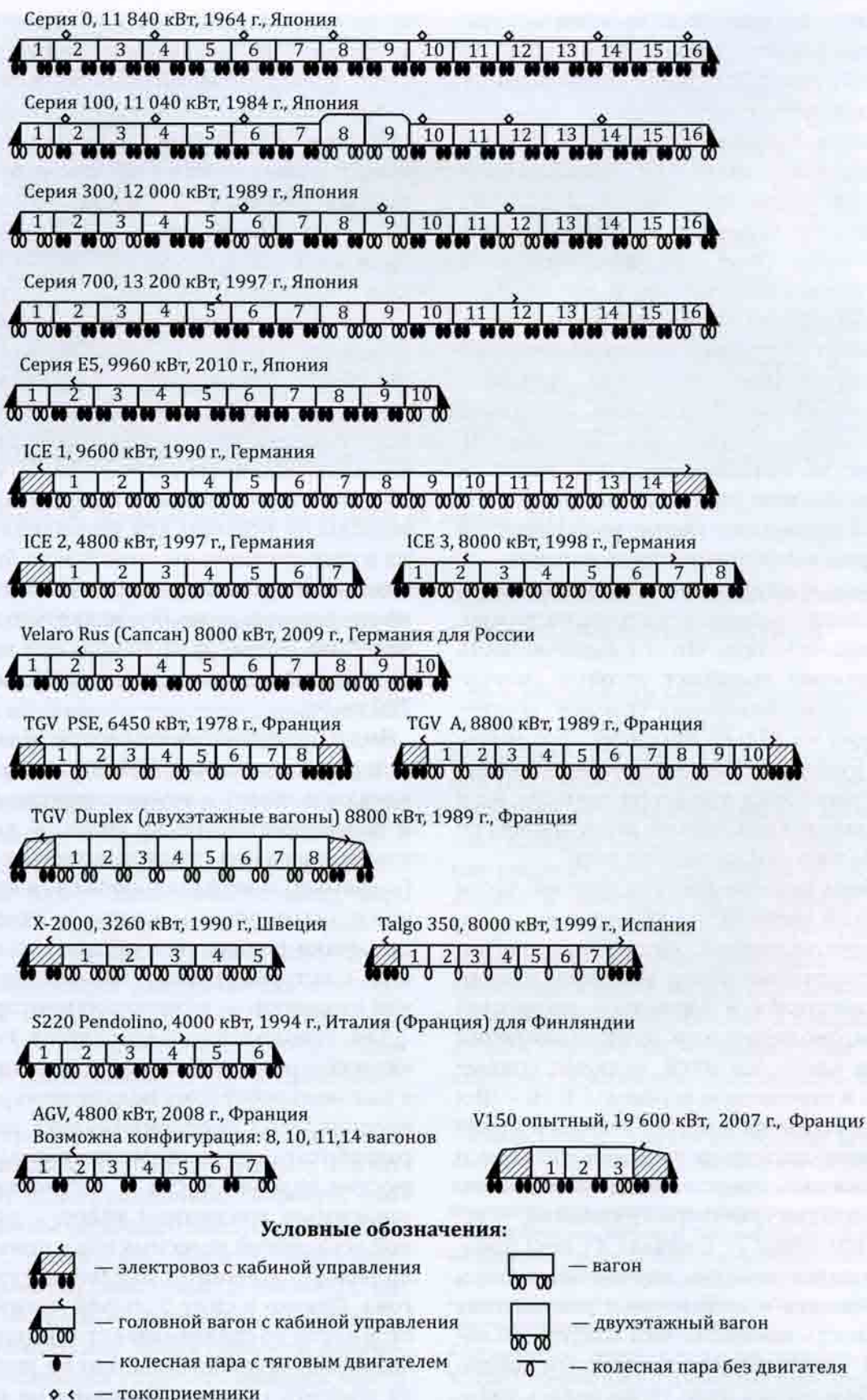


Рис. 12.5. Схемы формирования и распределение тяговых средств некоторых высокоскоростных поездов. После наименования поезда (или серии) указаны: суммарная тяговая мощность, год создания, страна-изготовитель



Рис. 12.6. Двухосная тележка вагона высокоскоростного поезда ETR500. Италия. 2005 г.

ми опирания кузовов вагонов на тележки. Наиболее распространенными являются вагоны, каждый из которых поддерживается двумя двухосными индивидуальными тележками. На рис. 12.6 приведена двухосная тележка вагона итальянского высокоскоростного поезда серии ETR500. В конструкции высокоскоростного подвижного состава также успешно используются сочлененные вагоны, при которой кузова соседних вагонов опираются на одну промежуточную тележку. Использование таких вагонов стало своеобразной фирменной маркой компании Alstom, производящей поезда семейства TGV (рис. 12.7, 12.9).

При одинаковой нагрузке на ось, казалось бы, существенной разницы нет. В первом случае вагоны должны быть в два раза легче, а следовательно, и короче. Однако в связи с тем, что у короткого вагона меньше изгибающий момент от веса тары и пассажиров, его кузов можно сделать более легким. С другой стороны, эксплуатация поезда из сочлененных вагонов усложняется, поскольку при ремонтных работах в депо необходимы особые технологические тележки или другие устройства для поддержания расцепленных вагонов. Во многих странах это считается существенным недостатком. Соперничество конструкторов, придерживающихся одной из двух концепций, продолжается. Промежуточные одноосные тележки используются в поездах

Talgo (Испания) с сочлененными вагонами (рис. 12.8, 12.10).

При создании ходовых частей для высокоскоростного подвижного состава приходится по-новому ставить и решать задачи обеспечения безопасности, плавности хода, уменьшения вибраций при высоких скоростях движения. Тележки вагонов современных экспрессов — продукт новых технических достижений, и успехи в создании ходовых частей — во многом определяют возможности высокоскоростного поезда.

Стремление увеличить вместимость пассажирского железнодорожного подвижного состава привело к мысли о создании двухэтажных вагонов, высота которых находилась бы в пределах установленного габарита. Пассажирские вагоны с двумя этажами появились уже в первой половине XIX века¹. Для того, чтобы иметь возможность в пределах установленного габарита подвижного состава как можно выше поднять потолок в салонах первого и второго этажа, в двухэтажных вагонах над уровнем тележек часто размещают входные тамбуры, а пол первого этажа опускают как можно ниже в межтележечное пространство. Первые двухэтажные вагоны на ВСМ были введены в 1986 г. в составе японского высокоскоростного поезда серии 100, предназначен-

¹ Второй этаж, называемый империалом (от англ.: imperial), имели дилижансы, омнибусы и т.п.

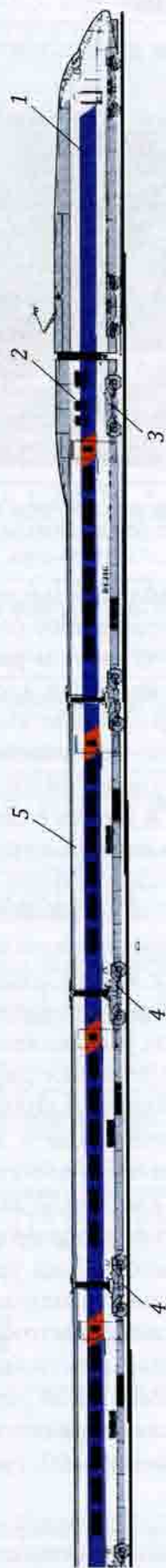


Рис. 12.7. Схематическое изображение локомотива и сочлененных вагонов поезда TGV: 1 — электровоз; 2 — вагон, сцепленный с локомотивом; 3 — индивидуальная тележка; 4 — промежуточные тележки; 5 — сочлененные вагоны

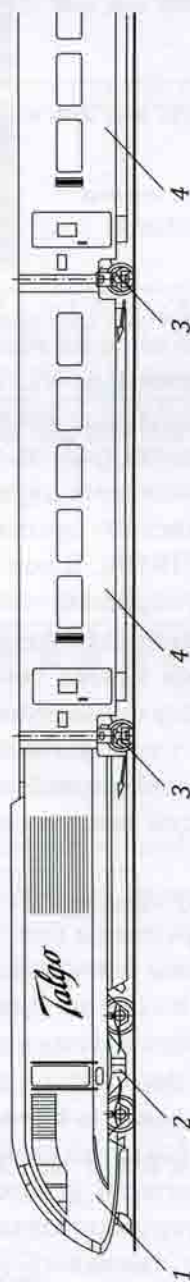


Рис. 12.8. Схематическое изображение высокоскоростного поезда Talgo XXI с сочлененными вагонами на одноосных тележках: 1 — тепловоз; 2 — моторная тележка; 3 — промежуточные тележки; 4 — сочлененные вагоны



Рис. 12.9. Сочлененные вагоны поезда TGV, опирающиеся на промежуточную тележку. Франция. 2010 г.

ного для линий ВСМ «Токайдо» и «Сантё» (рис. 12.11). До появления ВСМ двухэтажные вагоны получили значительное распространение в ряде стран в пригородном пассажирском движении, а также в поездах дальнего следования в виде спальных двухэтажных вагонов на ряде маршрутов в США и Канаде. В этих же двух странах, а также и в ряде европейских стран, например, в Германии, Швейцарии, Италии, двухэтажные вагоны использовались в комфортабельных экспрессах. Идея этих вагонов заключалась в том, что на первом этаже вагона в отдельных купе помещались спальные места. На втором этаже с куполообразной крышей, имевшей большое остекление, располагались кресла по числу спальных мест. Во время поездки в дневные часы пассажиры вагона имели возможность находиться на верхнем этаже и с большим комфортом обозревать местность вдоль железной дороги, отправляясь на ночной отдых в нижние купе.

При создании поезда серии 100 в Японии исходили, как из стремления увеличить число посадочных мест, так и из желания создать условия комфортного проезда для пассажиров. В салоне второго этажа располагались

либо обеденный зал ресторана с панорамными окнами для обзора местности, либо места повышенной комфортности, называе-



Рис. 12.10. Одноосная промежуточная тележка сочлененных вагонов поезда Talgo. Испания



Рис. 12.11. Двухэтажные вагоны поезда серии 100. Япония. 1986 г.

мые в Японии «Грин-класс». При этом салоны 1 класса, размещенные на втором этаже, были изолированными, что повышало комфорт проезда в них пассажиров, поскольку по второму этажу исключался сквозной проход. Для остальных пассажиров поезда проход через этот вагон был обеспечен по первому этажу, где находился буфет. В этом же вагоне были размещены места люкс-класса с одно-, двух- и трехместными купе. Однако опыт эксплуатации двухэтажных вагонов в поезде серии 100 на линиях «Токайдо» и «Санъё» оказался неудачным, поскольку места с высоким уровнем комфорта, а, следовательно, с более дорогими билетами, не пользовались спросом у пассажиров на маршрутах ВСМ. В последующем двухэтажные вагоны для этих линий не строились.

Однако двухэтажные вагоны оказались востребованы на ВСМ Восточной японской железнодорожной компании, поезда которой проходят по густонаселенным городским агломерациям и пригородным райо-

нам Токио. В часы пик дорога фактически работает в режиме, близком к пригородному или даже городскому транспорту: на всех остановках происходит большой обмен пассажиров в вагонах. Это потребовало создания вагонов повышенной вместимости, которые совмещали бы в себе возможность предоставления комфорта для пассажиров, путешествующих на относительно дальние расстояния, с обеспечением быстрой посадки и выхода пассажиров, следующих одну-две остановки. Эта концепция была реализована в поезде серии E1 MAX¹ (1994 г.) — первом японском высокоскоростном поезде (рис. 12.12), полностью состоящем из двухэтажных вагонов, и развит в поездах четвертой модели серии E4 MAX (1997). Ранее использовавшиеся здесь поезда серии 200, состоявшие из 12 одноэтажных вагонов, вмещали 898 пас-

¹ Название E1 MAX (E от англ.: East — Восток), 1 обозначает — первая модель, MAX — аббревиатура от англ. MULTI AMENITY EXPRESS — «Комфортабельный экспресс многофункционального назначения».

сажиров, новые поезда из 12 двухэтажных вагонов (при такой же длине состава около 300 м) вмещали 1229 пассажиров.

В вагонах поездов E 1 MAX и E 4 MAX устроены салоны трех классов. Примерно треть из всех мест поезда приходится на такие, которые в России принято называть «общие» — пассажиры приобретают биле-

ты без «плацкарты» — без указания места и занимают свободные кресла. В салонах этого класса устроены кресла без подлокотников, размещенные по шесть в ряд (3 + 3), их, как правило, занимают пассажиры, едущие на короткие расстояния. В вагонах поездов имеются также салоны с местами экономического и первого классов.

а



б

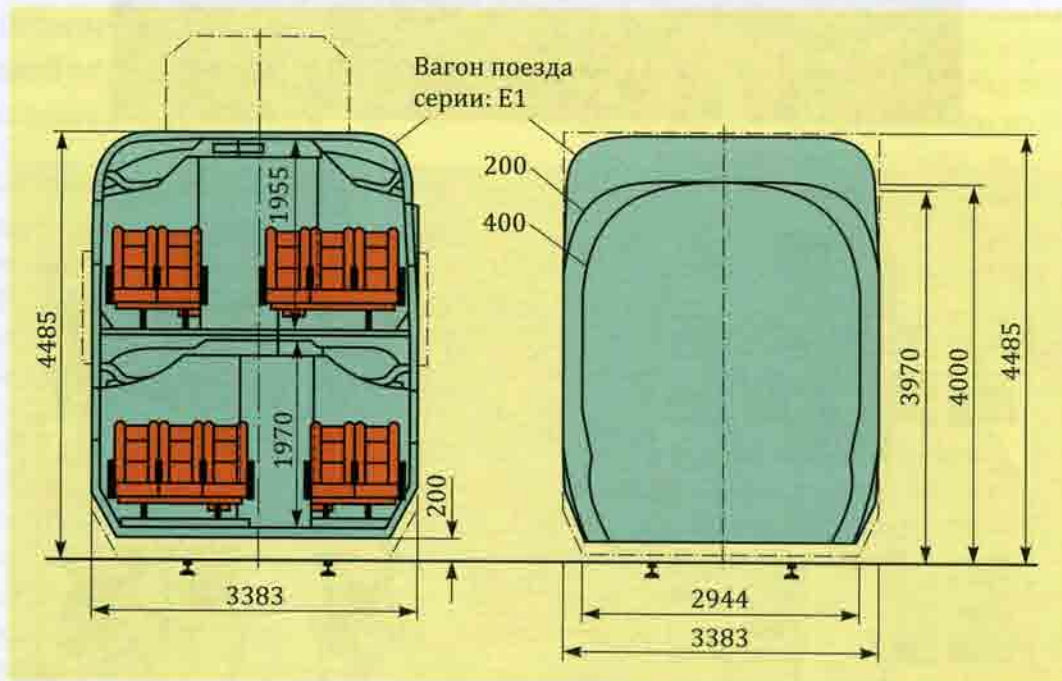


Рис. 12.12. Высокоскоростной поезд E 1 MAX с двухэтажными вагонами: а — общий вид; б — поперечное сечение вагона с основными размерами в сопоставлении с вагонами поездов других серий. 1994 г. Япония

Для подъема на второй этаж в каждом из вагонов устроены по две винтовые лестницы, а в двух вагонах для удобства инвалидов-колясочников и пожилых пассажиров предусмотрены лифты.

В конце 80-х годов XX столетия во Франции первая из введенных в строй в 1981 г. ВСМ Париж — Лион, на которой обращались высокоскоростные поезда первого поколения TGV PSE, подошла к пределу своей провозной способности. Национальное общество железных дорог Франции, исходя из

необходимости освоения растущего пассажиропотока на этом, а в будущем и на других высокоскоростных направлениях, приняло решение о создании поездов TGV с двухэтажными вагонами.

В 1995 г. компания GEC Alsthom начала выпуск высокоскоростных поездов с двухэтажными вагонами (рис. 12.13), получивших наименование TGV Duplex. Этот поезд, по сравнению с поездом из одноэтажных вагонов TGV PSE (при одинаковой длине состава из двух электровозов и 8 пассажир-

а



б

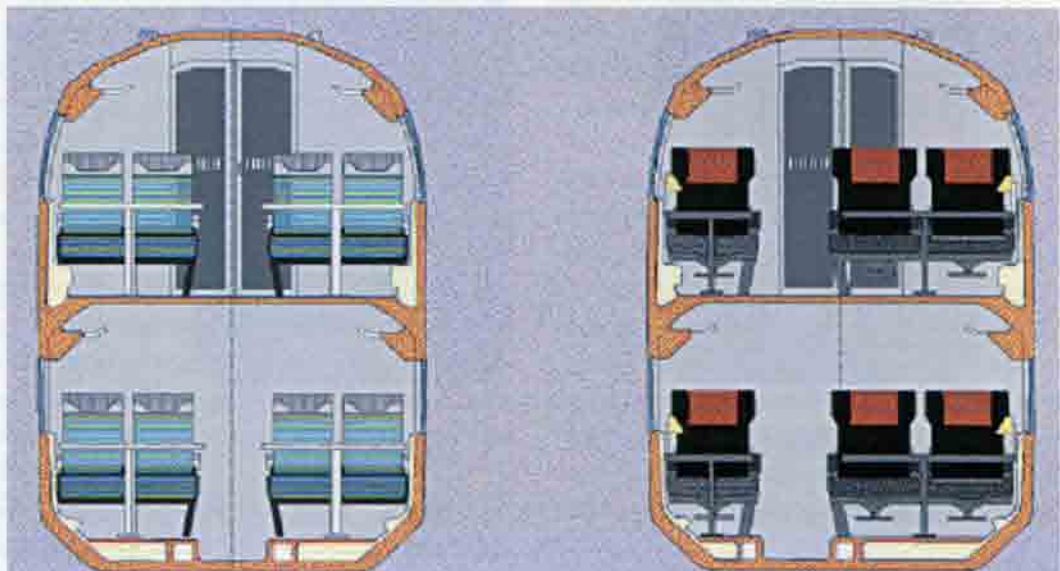


Рис. 12.13. Двухэтажные вагоны поезда TGV Duplex: а — общий вид; б — поперечное сечение кузовов вагонов — эконом-класса (слева) и бизнес-класса. Франция. 1995 г.

ских вагонов) имел на 45 % большую вместимость. За счет применения легких сплавов в конструкции кузова, проектировщикам удалось снизить массу двухэтажного вагона. Общая масса нового поезда оказалась на 5 т меньше (380 т вместо 385).

Необходимо заметить, что создание двухэтажных вагонов сопряжено с большими дополнительными трудностями, в сравнении с одноэтажными. Приходится решать многие проблемы обеспечения безопасности, прежде всего, связанные с аварийной эвакуацией пассажиров, и др. При этом, как видно из приведенных примеров, вместимость двухэтажных вагонов по сравнению с одноэтажными повышается не в два раза, а меньше, поскольку значительное пространство вагона занимают лестницы.

В Приложениях 1, 2, 3 приведены классификация и основные этапы развития высокоскоростного подвижного состава Японии, КНР и Европейских стран.

12.3. Компоновка поездов, пассажирских и служебных помещений вагонов. Системы жизнеобеспечения пассажиров и поездного персонала

В настоящее время предъявляются достаточно высокие требования к интерьерам самолетов, автобусов, пассажирских вагонов. Обустройство и дизайн пассажирских салонов, наряду с внешним видом транспортных средств, во многом определяет имидж компании-перевозчика, влияет на ее конкурентоспособность. Для создания дизайн-проектов вагонов высокоскоростных поездов привлекаются ведущие фирмы, специализирующиеся в области промышленного художественного конструирования, которые на всех этапах создания нового подвижного состава работают в тесном контакте с проектировщиками поезда и заказчиками — железнодорожными компаниями, эксплуатирующими подвижной состав.

К кабине машиниста высокоскоростного поезда предъявляются повышенные требования с точки зрения рациональности размещения оборудования и приборов управления, эргономичности рабочего места машиниста, создания комфортных условий для работы локомотивной бригады. Кабины управления этих поездов выполняются герметичными с индивидуальными (независимо от пассажирских салонов) установками кондиционирования воздуха. В настоящее время на высокоскоростных магистралях Японии, европейских стран ведение поезда осуществляется, как правило, машинистом без помощника. В силу этого в последних моделях поездов кресло машиниста устанавливается по продольной оси кабины. На *рис. 12.14* показан пример компоновки кабины машиниста современного высокоскоростного поезда.

Практически везде перевозки в высокоскоростных поездах осуществляются только на местах для сидения. Попытка создания спальных мест в виде люкс-купе с раскладывающимися креслами-диванами была предпринята в Японии в 80-е годы в поездах серии 100, в одном из вагонов которого располагались купе, рассчитанные на одного, двух или трех пассажиров (*рис. 12.15*). Однако на коротких маршрутах это предложение оказалось практически не востребовано пассажирами. Сегодня исключением являются несколько протяженных маршрутов в КНР, где эксплуатируются высокоскоростные поезда со спальными вагонами.

К настоящему времени в мире в большинстве компаний, осуществляющих высокоскоростные перевозки, сложилась практика разделения пассажирских салонов по уровню комфортности на два класса. Часто, вместо терминов «первый» или «второй» класс употребляют, видимо более демократичные по звучанию названия: «бизнес-класс» (в Японии его называют «зеленый класс») и «экономический класс» или «туристический» — названия, пришедшие из авиации (имеется в виду разделение по уровню оснащенности, комфортности мебели в салонах). Компании-перевозчи-



Рис. 12.14. Кабина управления высокоскоростным поездом Fastech 360S. Япония. 2005 г.



Рис. 12.15. Двухместное и одноместное люкс-купе вагона высокоскоростного поезда серии 100. Япония. 80-е годы XX столетия

ки вводят также различные категории по уровню обслуживания (питание на местах, раздача бесплатной прессы и т.п.). Иногда в вагонах высокоскоростных поездов устраивается разделение на три категории — добавляется люкс-класс.

В первых моделях немецких и испанских высокоскоростных поездов более комфортные места, как правило, располагались в изолированных купе для четырех-шести пассажиров. И сегодня в некоторых вагонах высокоскоростных поездов устраиваются люкс-

купе (рис. 12.16). Однако к настоящему времени в вагонах высокоскоростных поездов доминирующим стало размещение пассажирских кресел в открытых салонах типа самолетных. Для снижения неприятного туннельного эффекта длинного салона его иногда разделяют на две или три секции легкими декоративными перегородками в виде арок без дверей. Иногда в вагонах первого класса с помощью легких перегородок, как правило, не достигающих до потолка, komponуются купе с различным числом мест, создающие ощущение обособления.

В вагонах японских высокоскоростных поездов, имеющих самую большую ширину кузова из всех эксплуатируемых в мире (около 3380 мм) в экономическом классе в ряд размещаются пять кресел по схеме 2 + 3 — два кресла, проход, три кресла), а в салонах первого класса — четыре кресла (2 + 2) (рис. 12.17). В вагонах европейских высокоскоростных поездов, ширина кузова которых уже, чем у японских поездов Синкансэн (от 2814 до 3020 мм), в салонах экономического класса (рис. 12.18) в ряд располагают четыре кресла (2 + 2), а в салонах первого класса — три кресла (1 + 2). В китайских высокоскоростных поездах, ширина кузова которых больше, чем в европейских, в салонах второго класса размещают в ряд пять кресел. Также поступили и разработчики последней модели высокоскоростного поезда компании Talgo «Avril» (Испания), представленного общественности осенью 2012 г. За счет применения конструкции более коротких вагонов ширину кузова увеличили до 3200 мм и разместили во втором классе 5 кресел в ряд, при несколько уменьшенной ширине каждого сидения, что, безусловно, снизило комфортность проезда пассажиров.

В России пока воздерживаются от подобного уплотнения. Ширина вагонов поезда «Сапсан» близка по ширине к вагонам поездов Синкансэн — 3257 мм, но в российских вагонах, как бизнес-класса, так и экономического устанавливают в ряд четыре кресла.

Интересно отметить такой факт. В поездах серии 0 первого выпуска (1963 г.) в ва-



Рис. 12.16. Люкс-купе на четырех пассажиров в вагоне высокоскоростного поезда ETP500. Италия. 2008 г.

гонах, как первого, так и второго классов, ряды пассажирских кресел для удобства пассажиров размещались строго против окон в боковых стенках. Поскольку расстояние между рядами кресел в первом классе было принято больше, чем во втором, пришлось спроектировать и изготовить для вагонов первого и второго класса разные кузова, отличающиеся шириной окон и межоконных промежутков. Впоследствии, как в Японии, так и в других странах, пошли по пути унификации и практически полностью перешли на изготовление вагонов с одинаковой шириной окон и межоконных промежутков. Это привело к тому, что в вагонах современных поездов (например, «Сапсан» и других) часть кресел устанавливается в простенке между окон, однако перевозчики считают оправданным дискомфорт для нескольких пассажиров в интересах упрощения производства вагонов.

Как правило, при оформлении салонов бизнес-класса придерживаются сдержанной,

а



б



Рис. 12.17. Интерьеры вагонов японских высокоскоростных поездов: а — салон первого класса вагона поезда серии 0 (ноль) — первого высокоскоростного поезда в мире. 1964 г.; б — экономического класса поезда серии 700. 1999 г.

строгой цветовой гаммы, используют дорогие и тяжелые ткани, искусственную кожу. Хотя, безусловно, многое определяет и общее направление дизайна, принятое компанией (сравним фото на рис. 12.17 и 12.18).

Хотя первая попытка организации в 80-е годы прошлого века в вагонах японских высокоскоростных поездов серии 100 класса «Люкс» высокого комфорта оказалась неудачной, в последние годы ряд операторов



Рис. 12.18. Высокоскоростной поезд TGV R — салон вагона экономического класса. Франция. 2005 г.

подвижного состава вновь проявили интерес к этой идее. Класс «Люкс» с креслами, которые могут быть трансформированы в спальные места (всего не более 10—15 на состав) организованы в новых поездах, обращающихся в Италии и в КНР (рис. 12.19, 12.20).

Внутренняя отделка вагона, как правило, основана на модульной концепции с использованием скрытых от глаз пассажиров средств фиксации (крепления) элементов стен, оконных рам и т.п. Обычно крепления включают в себя систему алюминиевых и пластмассовых выступов, запанельных соединений, переходов между панелями и перегородками, что позволяет производить быструю и эффективную сборку с минимальным числом операций. Все отделочные материалы вагонов высокоскоростных поездов должны удовлетворять требованиям пожарной безопасности, гигиены и санитарии.

Полки и стеллажи для багажа представляют собой либо простые конструкции из легких металлов, закаленного стекла с раз-

нообразной отделкой, либо отделения для багажа с подвижной крышкой-лотком самолетного типа¹, так называемые полки «Боинг». Часто с каждой стороны вагона вблизи тамбура оборудуются специальные отделения (места) для багажа, вешалки для одежды. В последнее время проблема обеспечения сохранности вещей пассажиров заставила конструкторов переместить багажные стеллажи в центр салона, где вещи находятся под присмотром их владельцев. Так сделано, например, в вагонах последней модификации поездов ICE, Германия; TGV, Франция (рис. 12.21).

Несмотря на то, что продолжительность поездки в высокоскоростных поездах редко превышает 3,5—4 часа, компании-перевозчики прилагают большие усилия по организации питания для пассажиров, видя в этом и важный элемент поднятия имиджа и возможность получения дополнительных доходов.

¹ Впервые применены на авиалайнерах и названы по имени выпустившей их компании «Боинг».



Рис. 12.19. Вагон класса «Люкс» с креслами, трансформируемыми в спальные места в общем салоне высокоскоростного поезда «Зефир 380». Компания Bombardier для КНР. 2012 г.



Рис. 12.20. Четырехместное купе высокоскоростного поезда «Зефир 380». 2012 г.



Рис. 12.21. Полка для багажа в средней части салона вагона поезда TGV R. Франция. 2005 г.

На большинстве маршрутов сложилась следующая практика организации питания в высокоскоростных поездах: пассажирам бизнес-классов, чаще всего, предлагают питание на местах, его стоимость обычно включена в тариф билета. Помимо этого для пассажиров всех классов в поездах, как правило, устраивают вагон-ресторан, иногда называют: «вагон-буфет», «вагон-бистро» (рис. 12.22, 12.23), часто в вагонах высокоскоростных поездов размещают автоматы по продаже закусок и напитков, включая горячий кофе, чай.

В вагонах высокоскоростных поездов, как правило, предусмотрены специальные места для проезда пассажиров с ограниченной подвижностью. Для этого в пассажирском салоне одного или нескольких вагонов в районе входной двери устанавливают специальные съемные кресла, а в полу устраивают анкерные крепления для колясок инвалидов, что позволяет пассажирам с ограниченной подвижностью безопасно разместиться с должным комфортом (рис. 12.24).

В настоящее время на мировом рынке кресел, сидений, специальной мебели — полок, столиков и т.п. для транспортных средств, представлена продукция нескольких десятков специализированных фирм. Большинство крупных компаний, выпускающих пассажирский железнодорожный подвижной состав, отказались от собственного производства, предпочитая осуществлять закупки этих изделий у специализированных компаний.

Размеры кресел для поездов стандартизованы, что позволяет максимально взаимно заменять их в пределах определенного набора, формируя интерьеры поездов. Кресла крепятся к полу и боковым стенам, почти всегда они имеют ножки, но пространство под ними сохраняют по возможности свободным для облегчения процесса уборки салона.

В большинстве случаев кресла оборудуют выдвижными столиками, укрепленными на спинках. В зависимости от класса вагона кресла покрывают различными тканями, искусственной кожей, имеются при-



Рис. 12.22. Зал вагона-ресторана поезда серии ETR500, Италия. 2005 г.



Рис. 12.23. Буфетная стойка вагона-бистро высокоскоростного поезда TGV R, Франция. 2005 г.



Рис. 12.24. В салоне вагона высокоскоростного поезда 700T пассажир в коляске, расположенной на специальном месте, оборудованном креплениями. Тайвань

меры использования натуральной кожи для кресел салонов первого класса. Все более широкое применение находят специальные, так называемые «антивандалные» ткани с металлической сеткой, которые невозможно разрезать ножом.

Несмотря на то, что практика дизайна мебели и аксессуаров для железнодорожных вагонов насчитывает около двух столетий, иногда случаются неудачные решения с точки зрения эргономики, эстетических представлений, а в некоторых случаях, опасные исходя из возможного причинения травм пассажирами. В качестве примера можно привести неудачную конструкцию откидного столика в салонах вагонов туристического класса высокоскоростного поезда «Аллегро» (рис. 12.25). На фото видно, что отделанные металлом заостренные откидывающиеся крышки столика опасны при посадке пассажира в кресло. Закругление острых углов, придание им сглаженной формы, приближающейся к шарообразной, во многом ликвидировало бы этот недостаток. Этот пример показывает, насколько внимательно необходимо относиться к разработке интерьеров вагонов.

В вагонах скоростных и высокоскоростных поездов устанавливаются разнообразные двери: обычной конструкции с защелкивающимся замком, отделяющие пассажирские помещения от служебных и специальные — герметичные, повышенной прочности с электрическим или пневматическим приводом, особыми запорными устройствами и микропроцессорными системами управления. Такие двери, представляющие собой сложную и высокоточную конструкцию, используются в качестве наружных в боковых и торцевых стенках вагонов. Как уже было отмечено, кузов вагона испытывает значительные аэродинамические нагрузки в процессе движения по ВСМ, эти нагрузки воздействуют и на дверные устройства. В последние годы в качестве наружных дверей вагонов высокоскоростных поездов получили распространение так называемые плаг-двери¹. Конструкция этих дверей при их закрытии сначала обеспечивает боковое перемещение до точного совмещения с дверным проемом, а затем — движение двери внутрь проема с опреде-

¹ От англ.: plug — затычка, штепсель.



Рис. 12.25. Пример неудачного дизайнерского решения откидного столика — заостренные, отделанные металлом углы откидных элементов столешницы могут травмировать пассажиров



Рис. 12.26. Наружная дверь вагона поезда «Сапсан». 2011 г.

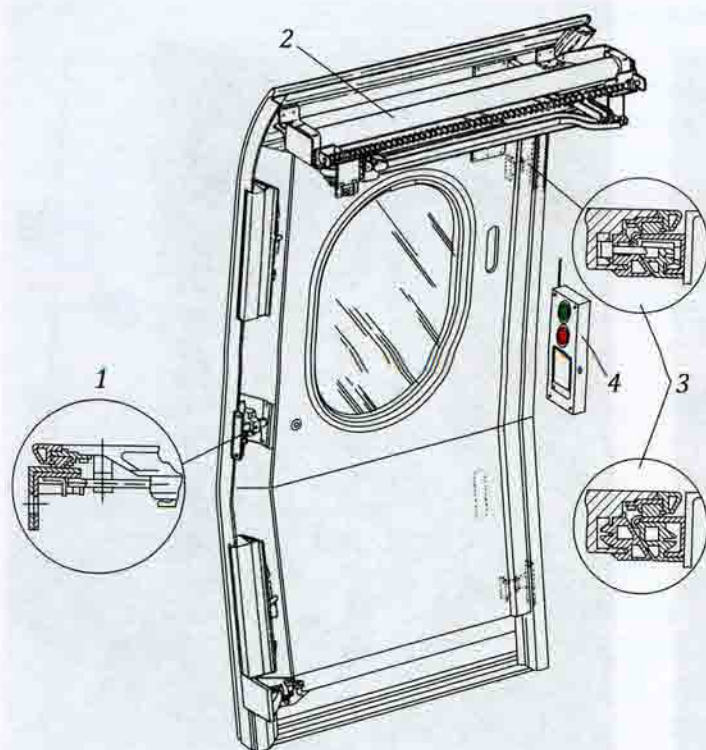


Рис. 12.27. Схематическое изображение устройства наружных дверей вагона высокоскоростного поезда ICE1 с электроприводом: 1 — узел замка; 2 — привод двери; 3 — поворотные петли; 4 — внутренний пульт управления с кнопками открытия и закрытия

ленным усилием, до плотного прилегания к стенке кузова. При открытии дверь сначала выходит наружу вагона, а затем отходит в сторону (рис. 12.26, 12.27). Двери открываются и закрываются с помощью электрических или пневматических приводов по команде машиниста, кондуктора или проводников вагонов.

Учитывая, что в Европе на некоторых ВСМ используются низкие платформы, причем отличающиеся в разных странах по высоте, конструкторам вагонов высокоскоростных поездов приходится в ряде случаев устраивать на входе в вагон внутренние лестницы для подъема с низких платформ. При этом для компенсации разницы в высоте между платформами в разных странах, нижние ступени делают выдвижными с помощью электрического или пневматического привода. Входные двери вагонов высокоскоростных поездов, обращающиеся на международных маршрутах, приходится оснащать выдвижными дополнительными ступеньками (площадками) для ликвидации большого зазора между краем кузова вагона и пассажирской платформой. Такая ситуация возможна, если отличаются габариты приближения строений железных дорог разных стран, и при использовании на

станциях одной страны высоких платформ, а на станции другой — низких. В качестве примера на рис. 12.28, приведена наружная дверь вагона поезда «Аллегро», обращающегося по маршруту Санкт-Петербург — Хельсинки. Финляндский вокзал в Северной столице России имеет высокие платформы (рис. 12.28, а) и здесь для безопасности пассажиров у входных дверей вагонов поезда «Аллегро» выдвигается ступенька (площадка). На вокзале в столице Финляндии поезд прибывает к низким платформам и эта площадка не нужна, но необходима нижняя выдвижная ступенька (рис. 12.28, б).

Высокая скорость движения поездов заставляла конструкторов обратить особое внимание на устройство безопасных и комфортных междвагонных переходов для пассажиров. Они должны быть герметичны, обеспечивать звуко- и теплоизоляцию, удобны для пассажиров всех категорий, включая инвалидов-колясочников, а также для обслуживающего персонала, пользующегося тележками для развозки еды, напитков и т.п. (рис. 12.29, 12.30).

В вагонах поездов ВСМ используются полностью закрытые окна с безосколочными стеклами, заключенными в герметичные стеклопакеты, что предотвращает проник-

а



Выдвигающаяся
площадка

б



Опускающаяся
ступенька

Рис. 12.28. Вагон высокоскоростного поезда «Аллегро»: а — с выдвинутой ступенькой (площадкой) наружной двери у высокой платформы вокзала в Санкт-Петербурге; б — со спущенной выдвинутой нижней ступенькой у низкой платформы вокзала в Хельсинки. 2012 г.



новение пыли и влаги в пространство между стеклами. В последнее время значительно ужесточились нормы МСЖД, определяющие прочность лобового остекления кабины машиниста. Для этих целей применяются многослойные закаленные стекла.

Системы жизнеобеспечения предназначены для создания в пассажирских салонах и помещениях для поездной бригады комфортных условий для проезда и работы: поддержание в заданных пределах температуры, влажности, давления и состава воздуха, установленного уровня освещенности, бесперебойного функционирования устройств водоснабжения и водоотведения.

В вагонах высокоскоростных поездов, как правило, используется принудительная приточная общеобменная вентиляция мощностью не менее 1,2 кВт на вагон и суммарной производительностью: летом — не

Рис. 12.29. Внешний вид межвагонного перехода высокоскоростного поезда ICE1. Германия. 1991 г.



Рис. 12.30. Интерьер межвагонного перехода высокоскоростного поезда ETP500. Италия. 2010 г.

менее $5000 \text{ м}^3/\text{ч}$, зимой — $1200 \text{ м}^3/\text{ч}$. Работа установки автоматизирована и зависит от температуры воздуха в вагоне, которая контролируется термодатчиками в пассажирском помещении и в напорном воздуховоде.

В вагонах высокоскоростных поездов применяют одно- и двухканальные системы кондиционирования. Особенностью первых является то, что раздача подготовленного воздуха осуществляется по одному центральному напорному воздуховоду. При двухканальной системе теплый и холодный воздух подаются в пассажирское помещение по отдельным каналам.

Классическими являются одноканальные системы кондиционирования воздуха, включающие в себя приточно-вытяжную вентиляцию с возможностью подогрева воздуха, дополненную воздухоохладителем и системой рециркуляции.

В отопительный сезон такие установки кондиционирования воздуха осуществляют приточно-вытяжную вентиляцию с подогревом воздуха и рециркуляцией. Летом, при умеренной температуре окружа-

ющей среды, они могут работать без термообработки подаваемого в вагон воздуха, а при повышенной температуре включается в работу воздухоохладитель. Чаще всего воздухоохладителем является испаритель холодильной машины, выполненный подобно воздухоподогревателю системы вентиляции и образующий с ним единый калориферный блок. В высокоскоростных поездах используются две системы кондиционирования: традиционные для железнодорожного транспорта, в установках которых применяются экологически чистые хладагенты, не содержащие хлора или фреона-12, или самолетного типа, где в качестве рабочего тела системы охлаждения используется воздух.

В вагонах высокоскоростных поездов кузов делается герметичным, а установки вентиляции и кондиционирования воздуха объединяются с системой защиты пассажиров от резких скачков давления наружного воздуха вблизи вагонов при встрече поездов на высокой скорости или при проходе тоннелей.

С этим явлением впервые столкнулись японские инженеры при испытании прототипа высокоскоростного поезда и в первый период эксплуатации ВСМ между Токио и Осака. Резкие скачки давления воздуха в пассажирских салонах при встрече двух поездов на высокой скорости или при входе поезда в тоннель вызывали у пассажиров болезненные ощущения, даже кровотечения из носа и ушей. Потребовались большие усилия конструкторов по доработке подвижного состава: прежде всего, герметизации пассажирских салонов и установке автоматических клапанов в системе вентиляции, обеспечивающих во время рейса поддержание в пассажирских салонах небольшого избыточного давления воздуха.

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха высокоскоростных поездов оснащены устройствами управления и регулирования на базе микропроцессорной техники, включенными в общую структуру управления поездом. Благодаря этому они в состоянии, с одной стороны, обеспечить пассажирам высокий

уровень комфорта независимо от населенности вагона, а с другой — делают возможной быструю передачу по поездной информационной шине сигнала о начале подъема давления воздуха вне вагона, что вызывает срабатывание защиты.

Вагоны высокоскоростных поездов оснащаются гигиеничными экологически чистыми туалетами, обязательно с замкнутой системой сбора отходов, что дает возможность пользоваться туалетами и в период нахождения поездов на станциях. Наибольшее распространение получили вакуумные устройства сбора отходов (рис. 12.31) и конструкции с использованием для смыва жидких обеззараживающих химических реагентов. Сточные воды из туалетов и мочевых устройств буфетов или вагонов-ресторанов собираются в герметичные емкости, которые опорожняются и дезинфицируются на специальных автоматизированных и механизированных установках в депо после окончания рейса. В одном или двух вагонах поезда обязательно устройство туалетов для пассажиров с ограниченной подвижностью, имеющих большую площадь и снабженных дополнительными поручнями, позволяющими использовать коляску.

В систему жизнеобеспечения современного пассажирского вагона высокоскоростного поезда входят емкости для хранения запасов воды для технических нужд и питья с устройствами водоразбора, кипячения, подогрева или охлаждения воды, а в некоторых случаях — ее доочистки и обеззараживания.

Создание оптимальных условий для проезда требует эффективной и многофункциональной по назначению системы освещения пассажирских салонов и служебных помещений. При ее проектировании приходится решать ряд противоречивых задач. С одной стороны, уровень освещенности на пассажирских местах должен быть достаточно высок для того, чтобы пассажиры имели возможность по желанию читать, писать, работать на портативных компьютерах и т.п. Вместе с тем общая освещенность в салонах не должна быть чрезмерной, в поле зрения сидящих пассажиров необхо-

димо исключить попадание ярких источников света (нить накаливания лампы, отражатель зеркального рефлектора и т.д.), поскольку многие пассажиры предпочитают в пути отдых, сон. В пассажирских вагонах устраивается несколько независимых систем освещения со своими светильниками и обособленной электропроводкой.

Обычная система общего освещения (нормальная рабочая) салонов, купе, служебных помещений, тамбуров, междвагонных переходных устройств, как правило, имеет несколько режимов функционирования: дневной, вечерний, ночной. Перевод из одного режима в другой может осуществляться как автоматически (бортовым компьютером), в зависимости от уровня наружного освещения, так и в ручном режиме работниками поездной бригады.

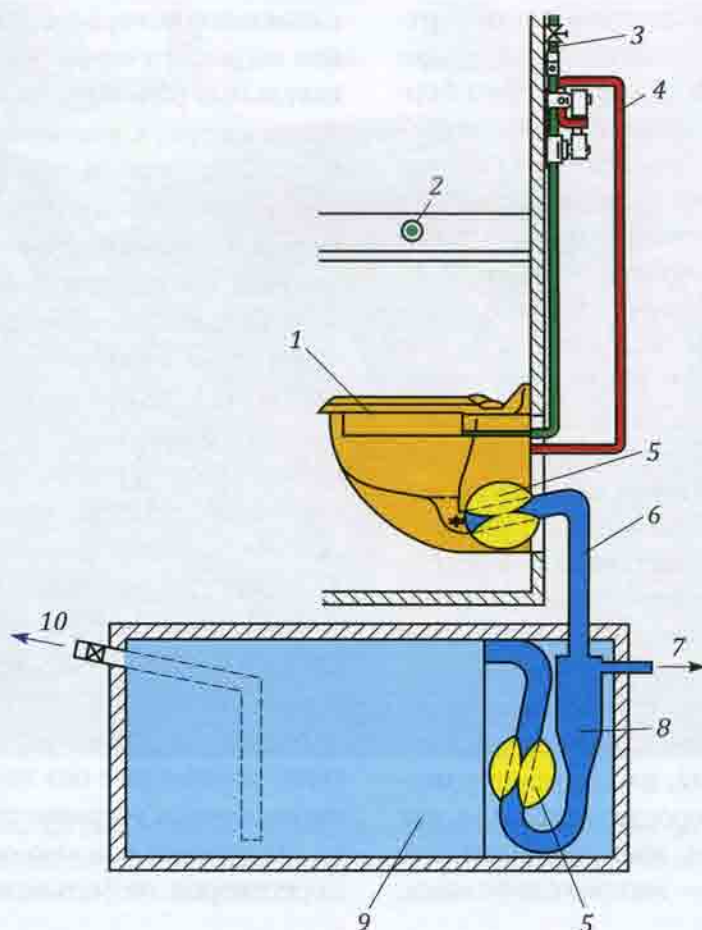
Аварийная система освещения, действующая от резервного источника питания (как правило, аккумуляторных батарей), обеспечивает достаточный уровень освещенности для передвижения по салону при любых обстоятельствах, в том числе и при необходимости экстренного выхода пассажиров из вагона в чрезвычайных ситуациях.

В салонах устраиваются общее рассеянное мягкое освещение с использованием светильников отраженного света (рис. 12.32) и индивидуальные точечные регулируемые источники света для каждого пассажира, которые можно самостоятельно включать и отключать, независимо от времени суток (рис. 12.33).

Строго индивидуально, на основании дизайн-проектов, расчетов и экспериментов подбирается освещение для служебных помещений, в первую очередь для кабины машиниста, а также санитарных блоков, зоны тамбуров и переходных площадок.

В последние годы предпочтение отдается экономичным люминесцентным, галогеновым или светодиодным лампам, имеющим сбалансированный спектральный состав излучаемого света, выбранный в соответствии с гигиеническими требованиями, а также исходя из концепции общего цветового оформления салонов, тона обшивки стен, обивки кресел и т.д.

а



б



Рис. 12.31. Схематическое устройство вакуумного туалета высокоскоростного поезда ICE1 (а): 1 — унитаз; 2 — кнопка приведения в действие вакуумного туалета; 3 — подача воды под высоким давлением; 4 — сжатый воздух для привода в действие запорных клапанов; 5 — запорные клапаны; 6 — вакуумная труба, соединяющая унитаз с сифоном; 7 — соединение с вакуумным насосом; 8 — сифон; 9 — сборный бак; 10 — патрубок для опорожнения сборного бака в депо; б — туалет для людей с ограниченной подвижностью

Важным элементом создания комфортных условий поездки является информационное обеспечение пассажиров. Через бортовые компьютеры поезда на multifunctionальных дисплеях по «бегущей строке» пассажирам передаются сведения о ближайших станциях, режиме движения поезда, скорости в данный момент, прогноз погоды и т.п. (рис. 12.34). Получают все большее распространение информационные системы, работающие в интерактивном режиме по индивидуальным запросам пассажиров. Эти устройства взаимодействуют с железнодорожными сетями управления и могут предоставлять пассажирам справки о станциях пересадок, расписании поездов и других видов транспорта, дают возможность бронирования гостиниц и билетов для дальнейшей поездки и т.д.

Наряду с поездной громкоговорящей трансляцией, необходимой для передачи сообщений и объявлений, пассажирские места в вагонах высокоскоростных поездов, как правило, оснащаются индивидуальными аудиоустройствами — микротелефонами,

с помощью которых возможно прослушивание по выбору одной из нескольких развлекательных радиопрограмм или звуковое сопровождение к видеофильмам, которые демонстрируются на телевизионных мониторах, размещенных в салоне в нескольких местах. В вагонах первого класса некоторых поездов применяются жидкокристаллические телевизионные экраны, вмонтированные в спинки кресел предыдущего ряда.

В 90-х годах прошлого века в вагонах высокоскоростных поездов часто устраивались кабины с телефонами-автоматами для междугородной и международной связи, обычно с помощью систем связи стандарта GSM R. Быстрое распространение индивидуальной мобильной телефонной связи сделало подобные телефоны-автоматы ненужными, в начале текущего столетия такие кабины начали демонтировать. Однако в последние годы кабины уже без телефонов-автоматов вновь начали устраивать в поездах дальнего следования с целью создать условия для переговоров, не беспокоящих соседей по ва-

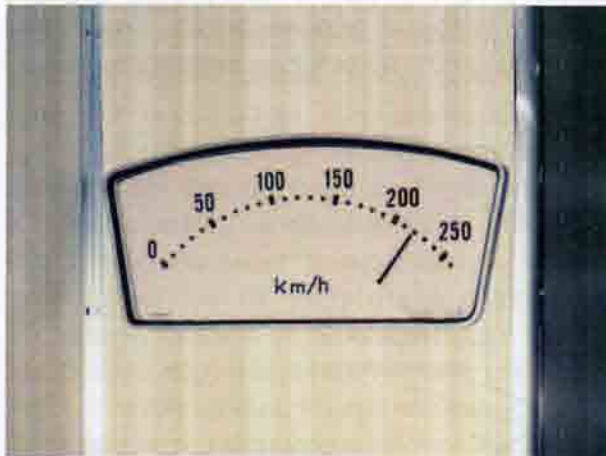


Рис. 12.32. Освещение салона вагона с помощью светильников, расположенных за потолочными карнизами и за багажными полками. Высокоскоростной поезд «Сапсан». Германия для России. 2009 г.



Рис. 12.33. Индивидуальные точечные светильники, размещенные в спинке кресла пассажира. Вагон высокоскоростного поезда TGV PSE (после реновации). Франция. 2005 г.

а



б



Рис. 12.34. Информационные указатели в пассажирских салонах: а — стрелочный указатель скорости в салонах вагонов первых поездов Синкансэн серии 0. 1964 г.; б — информационное табло в вагоне высокоскоростного поезда Velaro CRH 3 показывает: номер поезда, текущее время, номер вагона, скорость в данный момент. КНР 2010 г.

гону. Все больше компаний-операторов оснащают вагоны высокоскоростных поездов устройствами обеспечения Wi-Fi связи для подключения компьютеров к сети Интернет.

Все перечисленные усовершенствования создают комфортные условия для пассажиров, повышают конкурентоспособность высокоскоростного транспорта.

Глава 13

Механическая часть высокоскоростного подвижного состава: основные понятия и технические решения¹

13.1. Динамика и взаимодействие подвижного состава и пути. Аэродинамика подвижного состава

Динамика подвижного состава изучает движение локомотивов, вагонов и поездов в зависимости от действующих на них сил и является частным разделом динамики механических систем. Движение подвижного состава определяется направлением и скоростью.

Направления поступательных и угловых перемещений отдельных тел рельсовых экипажей (кузова, тележек, колесных пар и т.п.) определяются по отношению к осям x , y , z (рис. 13.1), движущихся со скоростью экипажа, — инерционная система. Ось x направлена вперед по направлению движения вдоль оси пути, ось y направлена поперек оси пути (обычно вправо), ось z направлена вертикально вниз.

Вращениям вокруг осей x , y , z соответствуют угловые перемещения. Колебания тел называют: по оси x — подергивание, по

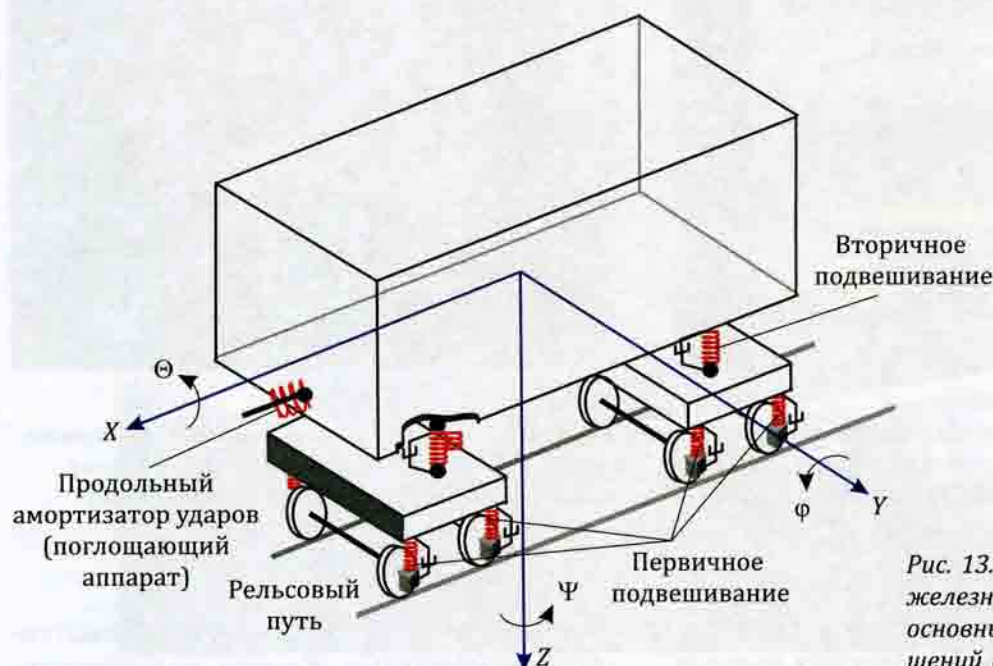


Рис. 13.1. Система координат железнодорожного экипажа, основные обозначения перемещений и углов поворота

¹ В главе использованы материалы совместных публикаций авторов с Т.М. Белгородцевой, Л.В. Винником, В.С. Лесничим, А.М. Орловой, Е.А. Рудаковой, А.В. Третьяковым, Н.А. Чурковым.

оси y — относ, по оси z — подпрыгивание. Повороты тел называют: вокруг оси x — боковая качка, вокруг оси y — галопирование, вокруг оси z — виляние.

Характеристиками движения подвижного состава являются ускорения, скорости и перемещения отдельных тел экипажа во время движения вдоль пути. Тяговое, тормозное усилия, силы сопротивления и воздействия на путь определяют эксплуатационные свойства подвижного состава.

При изучении колебаний подвижного состава их иногда разделяют на три группы: вертикальные — колебания в вертикально-продольной плоскости по координатам z и ϕ ; продольные — по координате x и поперечные — по координатам y , θ , ψ . Строго говоря, в силу специфики связей и асимметрии системы все эти колебания взаимно связаны, но опыт показывает, что многие важные выводы можно сделать, рассматривая их отдельно.

Для исследования динамики подвижного состава составляют его механическую модель из твердых тел в виде масс, соединенных с помощью жестких упругих и диссипативных элементов. Жесткие элементы не допускают относительных линейных или угловых перемещений между телами в одном или нескольких направлениях. В упругих элементах возникающие в них силы зависят от относительных перемещений, а в диссипативных элементах — от скорости относительных перемещений. Зачастую применяются упруго-диссипативные элементы, силы в которых зависят как от взаимного перемещения, так и от скорости этого перемещения. Инерционные свойства твердых тел характеризуются массами и моментами инерции.

Модель подвижного состава дополняется моделью пути, которая в зависимости от задачи может представлять путь в виде жесткой поверхности, упругого основания или сложной конструкции, включающей рельсы, шпалы и балласт.

Для анализа динамических процессов высокоскоростного состава необходимо иметь модель внешних возмущений, обусловливаемых неровностями пути.

Далее, пользуясь методами механики, выполняют математическое описание модели в виде дифференциальных уравнений движения. Для этого обычно использовался принцип Даламбера или уравнения Лагранжа II рода. Затем полученные уравнения интегрируются и определяются динамические показатели подвижного состава при различных скоростях движения. В настоящее время этот процесс автоматизирован и существует ряд программных продуктов, позволяющих создавать математические модели и проводить их исследования.

Взаимодействие колеса и рельса является ключевым в динамике подвижного состава, в нем заключается основное отличие от динамики других механических систем. Правильно организованное взаимодействие колеса и рельса допускает высокие скорости. С другой стороны, неправильно сконструированное и не обеспеченное в достаточной мере техническим обслуживанием и ремонтом, взаимодействие колеса и рельса может привести к быстрому износу элементов системы и поставить под угрозу безопасность пассажиров.

Ходовые части скоростных вагонов оснащены колесными парами с колесами, жестко установленными на общей оси (рис. 13.2). Колесные пары с независимыми вращающимися колесами в ограниченной мере используются, например, в вагонах типа «Talgo». Поверхность катания колеса обрабатывается так, что создается конус с углом γ к оси колесной пары. Для ограничения перемещений поверхность катания завершается гребнем (конусом с большим углом α).

Поверхность катания новых колес характеризуется углом наклона к оси колесной пары, определяемым коничностью (отношение приращения радиуса колеса к длине рабочей поверхности катания), или конусностью (отношение приращения диаметра колеса к длине рабочей поверхности катания).

Для обычных вагонов колеи 1520 мм поверхность катания, начиная от гребня выполняется с коничностью 1:20, а затем 1:7. Для скоростных вагонов колеи 1520 мм вблизи круга катания имеется меньшая ко-

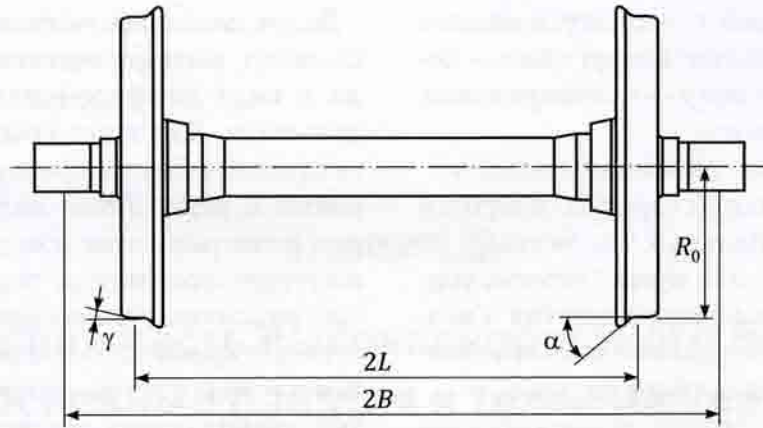


Рис. 13.2. Колесная пара: $2L$ — расстояние между кругами катания колес; $2B$ — расстояние между серединами шеек осей; R_0 — радиус колеса по кругу катания; γ — угол наклона рабочей поверхности; α — угол наклона гребня

ничность 1:100, затем 1:20, 1:7. У вагонов колеи 1435 мм коничность переменная и задается формулами или таблицей (профиль UIC-ORE). В процессе эксплуатации коничность поверхности катания уменьшается, а при больших износах приобретает отрицательное значение. Это вызывает необходимость обточки колес в эксплуатации для исправления их геометрии.

Железнодорожный путь состоит из двух рельсов, уложенных на шпалы с обеспечением ширины колеи (рис. 13.3). Рельсы наклонены внутрь колеи под углом β к поверхности шпал так, чтобы их положение соответствовало углу γ профиля катания коле-

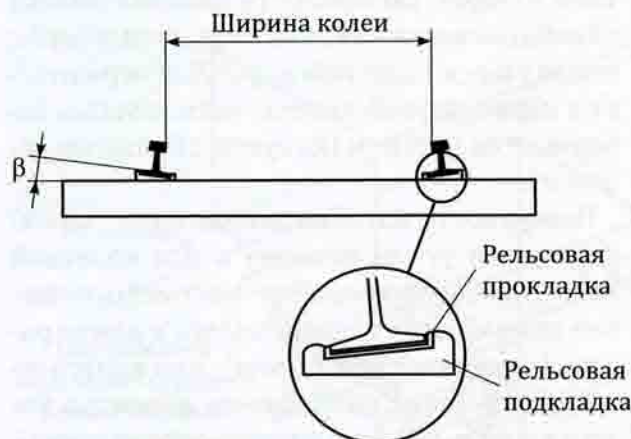


Рис. 13.3. Колея железнодорожного пути: β — угол подуклонки рельсов для колеи: 1520 мм уклон 1:20; для 1435 мм 1:40 (возможны 1:50 и 1:60)

са (так называемая «подуклонка»). Такое устройство пути способствует предотвращению вкатывания колеса гребнем на рельс, так как формирует нормальную реакцию в контакте колеса с рельсом, линия действия, которой, проходит через подошву рельса. При контакте стального колеса со стальным рельсом обеспечивается низкое сопротивление качению. Геометрия колесной пары математически описывается как двойной конус, что придает колесной паре уникальное свойство самоустановки, т.е. обеспечивает самоцентрирование при движении в прямой (рис. 13.4). При отклонении направления движения колесной пары, например, влево от направления рельсовой колеи, левое колесо начинает катиться по кругу катания с большим радиусом, а правое с меньшим. В результате колесная пара разворачивается и возвращается к центру рельсовой колеи. При отклонении в другом направлении все происходит наоборот.

В кривой (рис. 13.5) при отклонении колесной пары относительно пути на величину u наружное колесо катится с большим радиусом $R + u\gamma$ и за каждый оборот оси проходит большее расстояние, чем внутреннее колесо, что вызывает поворот колесной пары вслед за осевой линией пути.

Колесная пара с правильно выбранными связями обладает также способностью компенсировать различия в диаметрах колес, смещаясь в поперечном направлении.

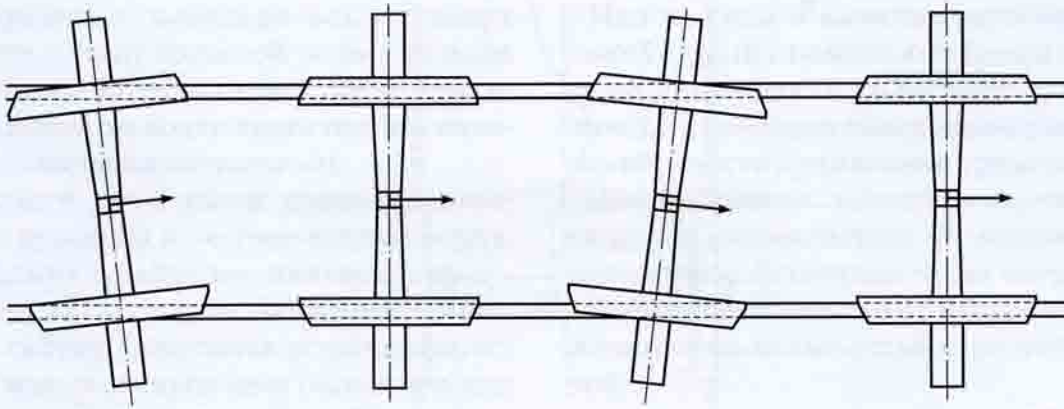


Рис. 13.4. Самоцентрирование колесной пары при движении по прямому участку пути

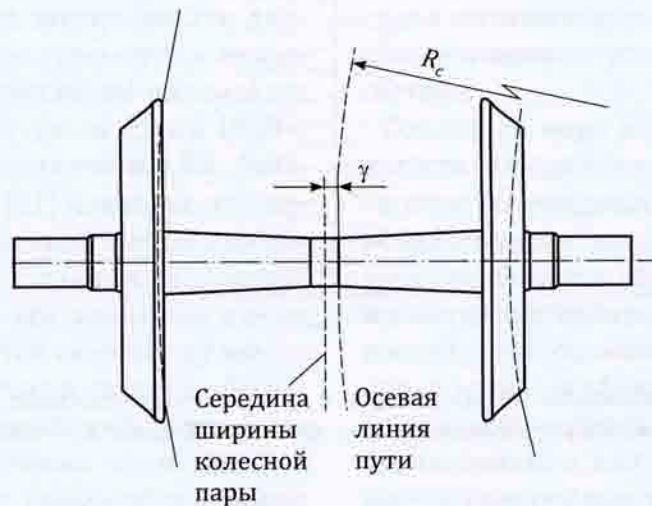


Рис. 13.5. Положение колесной пары в кривой: R_c — радиус кривой; γ — отклонение колесной пары относительно оси пути

Однако эти возможности реализуются не всегда. Существует критическая скорость, при которой колесная пара теряет устойчивость и начинает вилять.

Движение колесной пары прямолинейно относительно пути только при определенных условиях. Граница устойчивости зависит от скорости движения, конусности, параметров связей колесной пары с рамой, массы, а в общем случае и от амплитуд колебаний. На рис. 13.6 показаны движения колесной пары в случае асимптотической устойчивости (1), наличия предельного цикла (2) и неустойчивости (3).

Причина возникновения неустойчивости связана с силами кривого скольжения. Продольный крив

возникает при качении деформируемого колеса по деформируемому рельсу. Под кривом понимают продольную деформацию или, что то же самое, относительную продольную скорость скольжения в зоне контакта

$$\varepsilon_x = \frac{dx - r_0 d\varphi}{dx} = \frac{v_0 - \omega r_0}{v_0},$$

где dx — продольное перемещение колеса; $r_0 d\varphi$ — перемещение колеса вследствие чистого качения; v_0 — продольная скорость колеса; ωr_0 — скорость вследствие чистого качения.

Касательную реакцию называют силой крива и определяют как

$$F = k(\varepsilon_x);$$

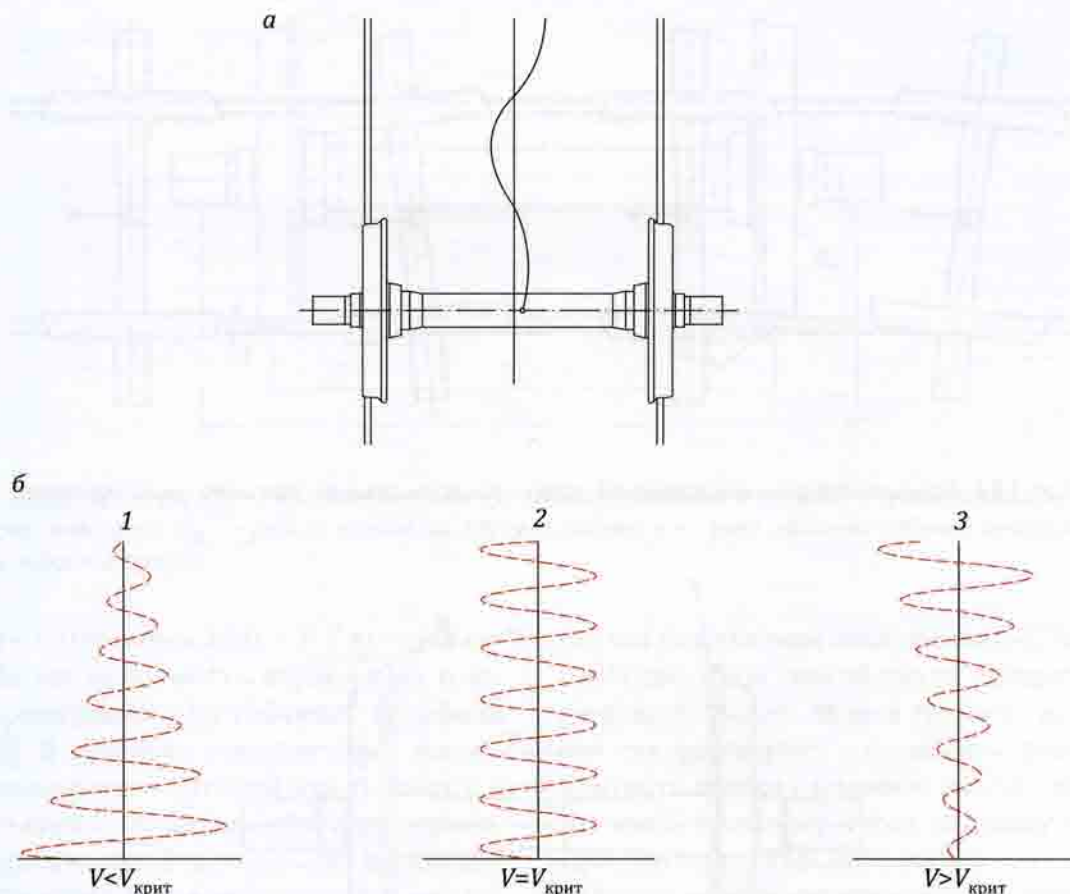


Рис. 13.6. Поперечная устойчивость колесной пары: а — поперечное движение; б — траектории: 1 — области асимптотической устойчивости; 2 — предельный цикл; 3 — область неустойчивости

в линейной теории:

$$F = k_x \varepsilon_x,$$

где k_x — коэффициент продольного крива, зависящий от кривизны контактирующих поверхностей в точке контакта, нагрузки и упругих постоянных взаимодействующих тел.

Согласно линейной теории Ж. Калкера, при стационарном качении продольная F_x , поперечная F_y силы крива, а также момент M_2 сил поворотного крива выражаются через проекции на координатные оси скоростей скольжения в точках контакта и угловой скорости вращения, отнесенных к скорости движения с помощью коэффициентов крива $k_x, k_y, k_{spy}, k_{sp}$, определяемых по формулам контактной теории упругости:

$$\begin{aligned} F_x &= k_x \varepsilon_x; \\ F_y &= -k_y \xi_y - k_{spy} \xi_{sp}; \\ M_2 &= -k_{sp} \xi_{sp} + k_{spy} \xi_y, \end{aligned}$$

где ξ_x, ξ_y, ξ_{sp} — продольный, поперечный и поворотный кривы соответственно.

Подробное вычисление этих сил приводится в работах Калкера, реализовано в компьютерной программе «Fastsim» и изучается в курсах динамики вагонов и локомотивов. Впервые на значение крива применительно к движению железнодорожных экипажей было указано в работах Ф.В. Картера, в которых было определено понятие продольного и поперечного крива [51].

Силы крива являются неконсервативными, и за их счет часть энергии поступательного движения рельсового экипажа может преобразовываться в энергию боковых колебаний. Интенсивные боковые колебания могут привести к недопустимо большим нагрузкам на путь. Однако самым опасным будет возможность вкатывания гребня колеса на поверхность катания рельса при больших горизонтальных силах, прижима-

ющих гребень к головке рельса, что может привести к сходу колесной пары с рельсов и крушению поезда. Определение критической скорости подвижного состава является чрезвычайно актуальным.

В области устойчивого движения переходные процессы в системе экипаж—путь, вызванные случайными отклонениями пути стремятся затухнуть. Движения механической системы считается устойчивым, если при малых возмущениях (например, при изменениях начальных условий) отклонения возмущенного движения механической системы от ее невозмущенного движения остаются малыми сколь угодно долго. Если отклонения при возмущенном движении асимптотически стремятся к невозмущенному, то такое движение называется асимптотически устойчивым. Еще в 1960-е годы известные советские ученые В.А. Лазарян и М.Л. Коротенко [21] показали, что железнодорожный подвижной состав необходимо конструировать с такими параметрами, чтобы уравнения его движения имели асимптотическую устойчивость нулевого решения. В таком случае в системе обеспечивается затухание колебаний, вызванных случайными неровностями пути. Так как условием отсутствия самовозбуждающих колебаний является устойчивое движение рельсового экипажа, то задача нахождения условий устойчивости является первой при конструировании ходовых частей высокоскоростного подвижного состава.

Исследование условий устойчивости динамических систем связано с применением теории устойчивости движения, созданной выдающимся русским ученым А.М. Ляпуновым. Основная задача исследования динамики рельсового экипажа состоит в том, чтобы определить параметры движения по начальному состоянию и заданным действующим силам. Движение рельсового экипажа описывается с помощью систем обыкновенных дифференциальных, зачастую нелинейных уравнений и задача динамики сводится к решению называемой в высшей математике задачи Коши: интегрированию системы дифференциальных уравнений движения при заданных начальных условиях.

Многие годы о качестве рельсовых экипажей судили с помощью теоремы Ляпунова об устойчивости по первому приближению, т.е. с помощью линеаризованных уравнений. Вместо применения трудоемких методов численного интегрирования вопрос сводился к применению *QR*-алгоритма определения собственных чисел матрицы.

Оценка устойчивости по первому приближению оказывалась весьма простой и быстрой:

- применялись хорошо разработанные методы решения известной в математике полной проблемы собственных значений;
- имелась возможность применения методов оптимизации и выбора параметров, обеспечивающих устойчивость подвижного состава.

Однако по мере появления возможности сопоставить данные теории и эксперимента стало очевидным, что систематическое использование данной теории затрудняется отсутствием эффективных критериев малости, как возмущений, так и нелинейностей. Для оценки хода высокоскоростных поездов необходимо исследование переходных процессов и установившихся автоколебаний, а для этого необходимы решения нелинейных уравнений движения и линеаризованными уравнениями обойтись не удастся [44]. Для анализа устойчивости и автоколебаний нелинейных систем, которыми и являются локомотивы и вагоны, существенным является анализ фазовых траекторий и предельных циклов. Автоколебательное движение локомотива или вагона может являться устойчивым, однако это будет устойчивость предельного цикла нелинейной системы. Для подвижного состава наблюдается несколько предельных циклов. Зачастую устойчивые предельные циклы чередуются с неустойчивыми. Некоторые предельные циклы характеризуются малыми отклонениями (менее 1 мм), но могут иметься и предельные циклы, имеющие физический смысл регулярных ударов гребней при набегании колеса на боковую грань головки рельса. Для правильного выбора конструкции рельсового экипажа методами математического моделирования

определяют влияние упругих связей колесных пар с рамами тележек, конусности поверхностей катания колес, моментов трения и других характеристик тележек на устойчивость движения.

Математические методы определения критической скорости действующими в Российской Федерации документами, регламентирующими конструирование и производство подвижного состава, не оговариваются; регламентируют только отношение критической скорости движения к конструкционной — не менее 1,1.

Требования к ходовым качествам. Повышение скорости движения выше уже достигнутой вызывает необходимость ответа на вопрос: безопасно ли увеличение скорости? Ведь метод проб и ошибок здесь не допустим!

Создатели нового подвижного состава используют многолетний успешный опыт работы железных дорог. Естественно предположить, что если существующий подвижной состав при достигнутых скоростях движения успешно работает при известных показателях ходовых качеств и воздействия на путь, то и новый подвижной состав на еще неизведанных скоростях будет работать успешно, если показатели ходовых качеств и воздействия на путь будут лучше или, по крайней мере, не хуже уже достигнутых.

Оценка ходовых качеств высокоскоростного состава производится по основным показателям, прежде всего:

- коэффициенту запаса устойчивости K_{yc} колесной пары от схода с рельсов по условию вкатывания гребня колеса на головку рельса;

- показателям плавности хода в вертикальном и поперечном направлениях w_v и w_r , а также ожидаемым уровням виброускорений в заданных диапазонах частот и зависящим от них времени утомляемости;

- коэффициенту вертикальной динамики K_{dv} и рамной силе H_p ;

- вертикальным и горизонтальным ускорениям a_v и a_r ;

- коэффициенту запаса поперечной устойчивости K_{yo} от опрокидывания в кривой под действием боковых сил;

- степени демпфированности форм колебаний;

- устойчивости от схода с рельсов по условию вкатывания гребня колеса на головку рельса.

В ряде случаев при выяснении причин крушений и аварий поездов на головке рельса в зоне катастрофы неоднократно обнаруживались ясно видимые следы (царапины и даже борозды), которые начинались с внутренней стороны рельса и по диагонали переходили на внешнюю сторону, показывая траекторию движения гребня колеса после вкатывания на рельс. Непосредственной причиной схода является сочетание двух факторов: снижение давления на колесо в вертикальном направлении (так называемая «обезгрузка») и действие силы в поперечном направлении. Колесо может вползти своим гребнем на рельс только в том случае, когда равнодействующая сил, действующих на него, преодолевает силу трения между гребнем колеса и рельсом.

Для определения запаса устойчивости используют формулу:

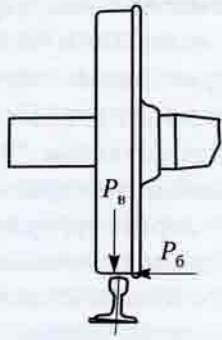
$$K_{yc} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} \cdot \frac{P_v}{P_b} \geq [K_{yc}],$$

где β — угол наклона образующей гребня колеса к горизонтальной (в зависимости от профиля поверхности катания колеса $\beta = 60 \dots 70^\circ$); μ — коэффициент трения поверхностей колес (принимается $\mu = 0,25$); P_v — вертикальная нагрузка от набегающего колеса на рельс; P_b — боковое усилие взаимодействия гребня набегающего колеса и головки рельса; $[K_{yc}]$ — допустимое значение коэффициента запаса устойчивости.

Из формулы следует, что запаса устойчивости не будет при $K_{yc} = 1$.

В целях безопасности в России для пассажирских вагонов коэффициент запаса устойчивости принят $[K_{yc}] = 1,6$, с учетом этого, по Нормам, действующим в Российской Федерации, поперечные силы должны быть меньше вертикальных примерно на 8—36 % (табл. 13.1).

Предельные значения P_6/P_v по условию вкатывания колеса на рельс

	По условию устойчивости	По Нормам МПС РФ для пассажирских вагонов [23], с учетом коэффициента запаса 1,6	По Нормам МПС РФ для электропоездов [22] с учетом коэффициента запаса 1,4	По Нормам МСЖД 518 [27] для любых локомотивов и вагонов
Профиль колес вагонов МСЖД (S 1002) $\beta = 70^\circ$	1,48	0,925*	—	0,8*
Профиль колес скоростных вагонов (ГОСТ 9036-88) $\beta = 65^\circ$	1,23	0,77	—	0,8*
Стандартный профиль колес вагонов (ГОСТ 9036-88) $\beta = 60^\circ$	1,03	0,64	0,74	0,8*

* Значения определены расчетным путем, согласно указанным нормам, в которых эти значения не устанавливаются.

Примечание: P_v и P_6 — вертикальная нагрузка и боковое усилие от набегающего на рельс колеса.

В Нормам для электропоездов в Российской Федерации [22] коэффициент запаса устойчивости принят равным 1,4. Поэтому допускаемое значение боковой силы должно быть меньше вертикальной на 26 %.

Согласно стандартам, установленным во Франции, боковая сила должна быть меньше вертикальной на 20 % в кривых радиусом более 300 м для любых типов вагонов и локомотивов. Величины вертикальных и боковых сил — P_v и P_6 выбирают или из теоретических расчетов методами математического моделирования, или определяют через коэффициенты динамики и рамные силы, полученные при эксперименте.

Плавность хода, уровни вибраций. С повышением скорости движения на железнодорожном транспорте необходимо уделять еще большее внимание вопросам уменьшения колебаний подвижного состава. Энергия возмущения, вносимая в динамическую систему «вагон—путь», увеличивается пропорционально скорости. Это связано с тем, что при высоких скоростях все более длинные неровности могут вызывать резонансные колебания подвижного состава; у длин-

ных неровностей и амплитуда больше.

Плавным можно назвать такой ход подвижного состава, при котором пассажир не испытывает неприятных ощущений и не утомляется даже при длительном путешествии. Неприятные ощущения, а в связи с этим и утомляемость, вызываются колебаниями, толчками, вибрациями и шумом. Опыт показывает, что человек по-разному переносит колебания, действующие в различных направлениях и в разных диапазонах частот.

Вибрации оказывают разностороннее действие на физиологические функции и органы человеческого организма, в том числе на слух, зрение и даже на работу мозга. Органы, воспринимающие вибрации, делятся на две группы: органы равновесия (вестибулярный аппарат) и органы осязания, зрения, слуха. При передаче вибраций одни частоты усиливаются, другие — ослабляются. Некоторые из частот, воздействующие на вестибулярный аппарат (~1 гц), вызывают укачивание, другие (4—8 гц) могут вызывать резонансные явления органов в теле человека.

Плавность хода и методы ее оценки давно являются объектом исследований в различных странах. На основе испытаний по воздействию вибраций на организм человека разработаны несколько методик оценки комфортности поездок в железнодорожном экипаже. Наибольшее распространение получили оценки: по показателю плавности хода; по нормам ISO; по времени утомляемости; по уровню ускорений.

Показатель плавности хода по Шперлингу [60] связывает раздраженность органов чувств пассажира с некоторой физической величиной, характеризующей колебательный процесс. В качестве этой величины принят условный параметр w , представляющий собой функцию от произведений максимума перемещения на максимумы второй и третьей производной перемещения.

$$w = k_1 \sqrt[10]{|z| |\ddot{z}| |\dddot{z}|} = k_1 \sqrt[10]{a_0^3 \omega^5},$$

где a_0 — амплитуда перемещений; ω — частота колебаний; k_1 — эмпирический коэффициент.

Колебания подвижного состава обычно носят случайный характер, поэтому метод Шперлинга (табл. 13.2) не дает строгого математического алгоритма определения показателя плавности хода. Однако в силу традиции им продолжают пользоваться. Вместе с тем, предложены другие способы определения плавности хода, регламентирующие замену случайного процесса гармоническим.

Таблица 13.2

Шкала показателей для оценки плавности хода по методу Шперлинга

Показатель плавности хода	Качественная оценка плавности хода
1	отличная
2	хорошая
3	удовлетворительная
4	приемлемая для эксплуатации
4,5	не приемлемая для эксплуатации
5	опасная

Показатель плавности хода по ОСТ 24.050.16.85 [3]

Существенные недостатки метода Шперлинга привели к разработке алгоритмов

оценки плавности хода вагонов, позволяющих выразить через статистические характеристики случайных колебаний кузова вагона. Такими характеристиками случайных колебаний вагонов является дисперсия ускорений, характеризующая мощность процесса колебаний, и спектральная плотность ускорений, характеризующая распределение этой мощности по частоте.

В соответствии с ОСТ 24.050.16-85 вычисление показателя плавности хода w_j для реализации длительностью T_j производится по формуле

$$w_j = \alpha \sqrt[10]{\bar{a}_j^3},$$

где $\bar{a}_j$ — среднее квадратичное значение виброускорений для реализации j , $\alpha = 4,346$ для вибрации в вертикальном направлении; $\alpha = 4,676$ для вибрации в горизонтальном поперечном направлении.

Полученные для отдельных реализаций длительностью T_j значения показателей плавности хода w_j предлагается усреднять по формуле

$$w_{cp} = \left(\sum_j \frac{T_j}{T} w_j^{6,67} \right)^{0,15},$$

где T_j — продолжительность j реализации; T — суммарное время определения показателя плавности хода для данной скорости.

Таблица 13.3

Оценка плавности хода на железных дорогах России

Показатель плавности хода	Качественная оценка плавности хода
<1	отличный
<2	хороший
<3,25	удовлетворительный
>3,25	не пригодный

Средний показатель плавности хода w_{cp} должен быть не более 3,25 для пассажирских вагонов поездов с локомотивной тягой, вагонов электро- и дизель-поездов, автомотрис, груженых вагонов метрополитена (табл. 13.3).

Оценка уровня вибрации в подвижном составе по международному стандарту ISO

2631 [54] и ГОСТ 311 91 [9] проводится по измерениям среднеквадратичного виброускорения. Воздействие вибрации на человека рассматривается в отношении:

- его здоровья и степени комфорта;
- чувствительности к воздействию вибрации;
- подверженности болезни движения.

Под комфортом понимают субъективное ощущение хорошего самочувствия в условиях воздействия внешних факторов. Под чувствительностью к вибрации понимают субъективное восприятие человеком наличия воздействия на него вибрации. Под болезнью движения понимают рвотный рефлекс, тошноту и недомогания, провоцируемые движением (болезнь движения, обусловленную морской качкой, называют морской болезнью). На базе ISO 2631 для оценки влияния вибрации на пассажиров и поездные бригады рельсовых эки-

пажей разработан специальный межгосударственный стандарт ГОСТ 311 91-4.2006 (ISO 2631-4:2001) [10] для оценки вибраций как на кузове, так и на поверхностях контакта сидений или спальных мест с телом человека.

Воздействие вибраций ориентируют по базицентральной системе координат для тела человека (рис. 13.7) и системе координат рельсового экипажа (см. рис. 13.1). С учетом того, что человек по-разному воспринимает воздействие вибрации на различных частотах в разных направлениях, вводятся основные и дополнительные функции частотной коррекции (рис. 13.8). Основные функции коррекции учитывают особенности восприятия человеком вибрации (рис. 13.8, а):

w_k — для направления z , а также для вертикального направления для лежащего человека (кроме головы);

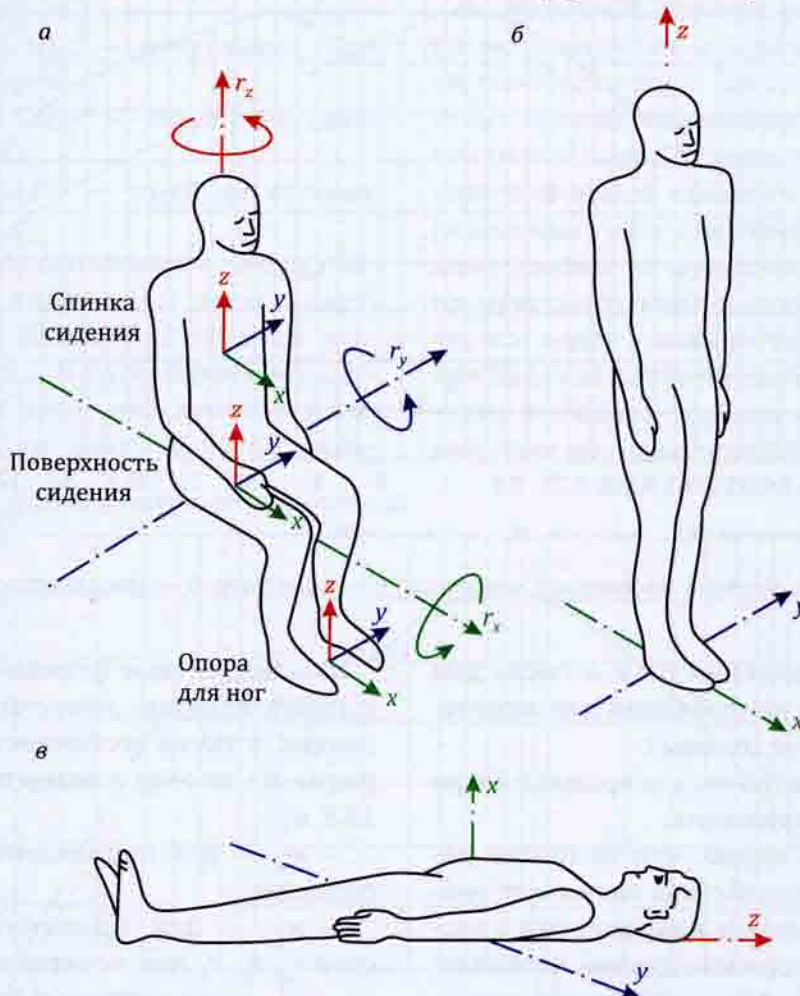


Рис. 13.7. Базицентральная система координат для тела человека в положении: а — сидя; б — стоя; в — лежа

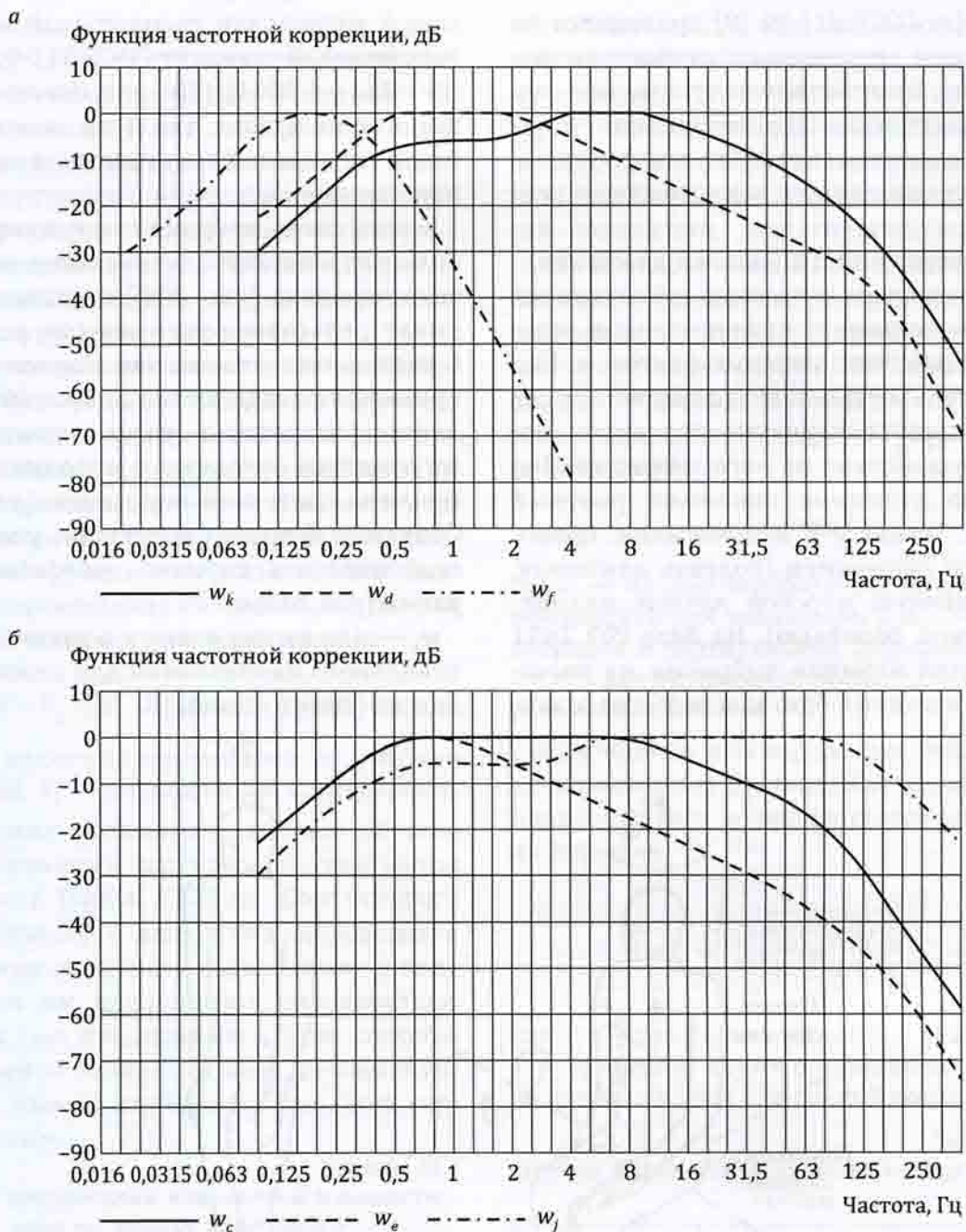


Рис. 13.8. Функции частотной коррекции: а — основные; б — дополнительные

w_d — для направлений x и y , а также для горизонтального направления для лежащего человека (кроме головы);

w_f — для направления z и вращений при оценке болезни движения.

Из рис. 13.8, а, видно, что наиболее неблагоприятное воздействие оказывает вибрация в вертикальном направлении с частотой 4—8 Гц, в горизонтальном направлении с частотой 1—2 Гц, для болезни движения с частотой 0,125—0,25 Гц.

Дополнительные функции коррекции учитывают влияние поверхности сидений и спинок, а также особенности передачи вибрации на голову лежащего человека (рис. 13.8, б):

— w_c — для направления x для спинки сидения;

— w_e — для вращений относительно осей r_x, r_y, r_z для поверхности сидения;

— w_j — для вертикального направления лежащего человека (голова).

Из рис. 13.8, б, видно, что наиболее неблагоприятное воздействие на сидящего человека оказывали вибрации в направлении движения с частотой 0,6—8 Гц, вращения с частотой 0,5—1 Гц, а для головы лежащего человека — вибрации с частотой 8—100 Гц.

В большинстве стран при оценке подвижного состава используются не функция частотной коррекции w_k , а функция частотной коррекции w_b , которая на частотах от 4 до 8 Гц меньше в 1,25 раза (рис. 13.9).

В стандартах ISO 2631 и ГОСТ 311 91-1.2004 не устанавливаются требования к допустимой вибрации. Приближенное представление о возможной реакции человека дают следующие значения:

- менее $0,315 \text{ м/с}^2$ — дискомфорт не ощущается;
- от $0,315$ до $0,63 \text{ м/с}^2$ — легкое ощущение дискомфорта;
- от $0,5$ до 1 м/с^2 — приемлемое ощущение дискомфорта;
- от $0,8$ до $1,6 \text{ м/с}^2$ — отчетливое ощущение дискомфорта;
- от $1,25$ до $2,5 \text{ м/с}^2$ — ощущение сильного дискомфорта;
- свыше $2,5 \text{ м/с}^2$ — крайняя степень дискомфорта.

Количественные соотношения между характеристиками вибрации и риском нарушения здоровья данным стандартом также не установлены. В то же время вводится понятие зоны предупреждения, в которой считается, что имеется потенциаль-

ный риск здоровью человека, если он находится в пределах данной зоны в течение определенного промежутка времени. Для времени воздействия 4 ч зоной предупреждения является уровень ускорений, превышающий $0,63 \text{ м/с}^2$, для времени воздействия 8 ч — $0,5 \text{ м/с}^2$, для времени воздействия 24 ч — $0,315 \text{ м/с}^2$.

Стандарт ISO 2631 также дает возможность оценить влияние низкочастотных колебаний, связанных с прохождением кривых и наклонами кузова на появление укачивания (болезнь движения) через дозу укачивания, которую определяют следующим образом:

$$MSDV = \left[\int_0^T a_w(t) dt \right]^{\frac{1}{2}},$$

где $a_w(t)$ — скорректированное виброускорение в направлении оси z , м/с^2 ; T — общий период времени, в течении которого наблюдаются низкочастотные колебания.

На железных дорогах разных стран мира используются и другие методы оценки плавности хода. Так сложилось, что они носят одинаковое название — показатель плавности хода (от англ. — ride-index), однако при общей схожести методики их определения, они отличаются частотными диапазонами и функциями, выражающими чувствительность человека к вибрациям, что ведет к количественным отличиям при анализе одного и того же процесса. Поэтому все более широкое распространение получает метод оценки ISO 2631.

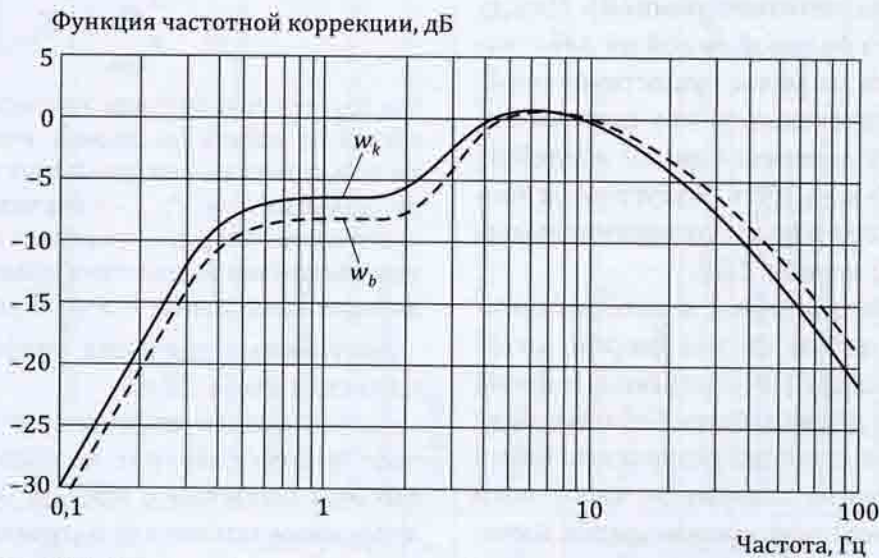


Рис. 13.9. Отличия функции частотной коррекции w_b и w_k

На плавность хода влияют различные нагрузки и силы: динамические, от ускорения (замедления при торможении), работа обрессоренных частей и др.

Коэффициенты динамики — величины динамических сил, которые удобно определять через статическую нагрузку (или статические напряжения). Коэффициентом вертикальной динамики называют отношение динамической силы $P_{\text{дин}}$ к статической $P_{\text{ст}}$: $k_{\text{дв}} = P_{\text{дин}} / P_{\text{ст}}$. Поэтому величина динамической силы получается умножением силы тяжести брутто (или напряжений от этой силы) на коэффициент вертикальной динамики $k_{\text{дв}}$.

При проведении испытаний подвижного состава обычно регистрируют статические и динамические прогибы рессорного подвешивания, статические и динамические напряжения в характерных местах конструкции.

По отношению измеренных показателей в динамике к их значениям в статике вычисляют коэффициент $k_{\text{дв}}$. В дальнейшем эти значения используют при оценке долговечности конструкции, но в некоторых нормах им придается значение самостоятельных критериев.

Рамная сила — это поперечная горизонтальная сила, действующая на колесную пару со стороны тележки, обычно определяется по напряжениям, возникающим в раме под действием поперечных сил (поэтому получила название рамной). Между рамной силой и боковой силой от действующей от колеса на рельс существует определенное соответствие, и это широко используется для экспресс-оценки воздействия экипажа на ж.-д. путь. Допустимые значения рамных сил в долях от вертикальных сил приведены в табл. 13.4.

Ускорения обрессоренных и необрессоренных частей. С точки зрения теории, коэффициенты динамики и ускорения, в долях от ускорения g , должны быть близки между собой. С другой стороны результаты измерений существенно зависят от частотного диапазона, в котором производятся измерения. Поэтому в нормативных документах

дополнительно ограничиваются ускорения кузова и обрессоренных частей тележек.

Для оценки основных показателей ходовых качеств, как правило, рассматривается диапазон частот колебаний до 20 Гц. При теоретическом определении этих показателей вероятность превышения нормативных значений принимается $\geq 0,97$, а при экспериментальных исследованиях не менее 0,999.

Оценка устойчивости от опрокидывания производится при движении экипажа по кривым участкам пути для двух случаев: опрокидывание наружу или внутрь кривой. В первом случае рассматривается движение вагона в составе поезда с максимальной допустимой скоростью для кривой данного радиуса и возвышения наружного рельса. При этом центробежные и ветровые нагрузки, поперечные составляющие продольных сжимающих сил считаются направленными наружу кривой. Во втором случае рассматривают движение вагона в режиме тяги с малой скоростью. При этом ветровые нагрузки, поперечные составляющие от силы веса и силы тяги, считаются направленными внутрь кривой. В обоих случаях учитывают «обезгрузку» тележек от вертикальных составляющих продольных сил из-за возможной разности высот автосцепок соседних вагонов.

Коэффициент запаса устойчивости от опрокидывания определяется по формуле

$$K_{\text{ус}} = \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{доп}}} \geq [K_{\text{уо}}],$$

где $P_{\text{ст}}$ — вертикальная квазистатическая нагрузка от колеса на рельс с учетом обезгрузки при действии вертикальных составляющих продольных сил; $P_{\text{доп}}$ — вертикальная квазистатическая нагрузка от колеса на рельс с учетом обезгрузки от действия поперечных составляющих продольных и вертикальных сил.

Допустимые значения коэффициента запаса см. в табл. 13.4.

Аэродинамика подвижного состава изучает взаимодействие воздушной среды и высокоскоростного поезда. Особенностью аэродинамики поезда в отличие от аэродинамики самолетов является то, что движе-

Допускаемые значения показателей ходовых качеств подвижного состава

№ п/п	Наименование показателя	Допускаемое значение							
		Нормы для вагонов [23]		Нормы для электропоездов [22]		Нормы для скоростных пассажирских вагонов [4]	РД. Методы испытаний на прочность и ходовые качества [19]		Нормы МСЖД [27]
		порожний	груженный	немотор- ный	моторный		порожний	груже- ный	
1	Коэффициенты вертикальной динамики: для кузова; для рамы тележки	0,25 0,40	0,20 0,37	0,20 0,30	0,20 0,35	0,15 —	0,25 0,40	0,20 0,35	— —
2	Коэффициент запаса устойчивости от схода вагона с рельсов	1,6	1,6	1,4	1,4	2,0	1,8 ¹	1,8 ¹	—
3	Ускорения								
3.1	Вертикальные ускорения (в долях g): кузова рамы тележки	0,25 0,40	0,20 0,37	— —	— —	0,15 —	— —	— —	0,25 —
3.2	Поперечные ускорения (в долях g): кузова; рамы тележки	0,15 0,20	0,12 0,15	— —	— —	0,12 —	— —	— —	0,25 —
4	Рамные силы (в долях от нагрузки на ось)	0,30	0,25	0,30	0,30	—	0,25	0,24	0,80
5	Показатель плавности хода: в вертикальной плоскости; в горизонтальной плоскости	3,25 3,25	3,25 3,25	3,25 3,25	3,25 3,25	3,25 3,25	3,25 3,25	3,25 3,25	— —
6	Коэффициент запаса поперечной устойчивости от опрокидывания в кривых	1,5(1,3 ²)	1,5(1,3 ²)	1,43 ³	1,43 ³	1,2	1,4 ¹	1,4 ¹	—

¹ При доверительной вероятности схода 0,001.² При опрокидывании внутрь кривой.³ Сделан пересчет к традиционному определению коэффициента устойчивости от опрокидывания.

ние осуществляется вблизи неподвижной земли. Такое движение называют движением относительного экрана.

Аэродинамические задачи, решаемые при создании высокоскоростных поездов, включают:

- определение аэродинамического сопротивления движению поезда;
- определение аэродинамических возмущений от воздействия поезда на окружающую среду (безопасность нахождения людей рядом с движущимся поездом);
- боковая устойчивость вагонов от действия ветра;
- изучение особенностей аэродинамических возмущений, связанных со стеснением воздушного потока (при встрече и обгоне поездов, при прохождении тоннелей и других инженерных сооружений вблизи пути);
- перемещение воздушных масс внутри вагона и размещение воздухозаборных и воздуховыводящих устройств.

Для определения сопротивления движению поезда рассматривают его компоненты:

- лобовое сопротивление, вызываемое приведением в движение воздуха перед поездом;
- хвостовое сопротивление, вызываемое разрежением в задней части поезда;
- сопротивление трению между стенками поезда и окружающим воздухом;
- сопротивление, вызываемое выступающими частями.

Механизм возникновения лобового сопротивления следующий. При движении поезда в воздушной среде происходит сжатие набегающего потока воздуха в носовой части. В результате здесь создается область повышенного давления. Под его влиянием струи воздуха устремляются к задней части поезда. Скользя по его поверхности, они обтекают его контур. При этом струи воздуха могут отрываться от обтекаемой ими поверхности и образовывать завихрения.

Хвостовое сопротивление поезда связано с отрывом воздушного потока от поезда и образованием области пониженного давления, куда осуществляется подсос воздуха

из окружающего пространства.

Величина лобового и хвостового сопротивления определяется по сходным формулам

$$F = c_x \frac{\rho v^2}{2} S,$$

где S — площадь поперечного сечения головного или хвостового вагона; v — скорость движения; ρ — плотность воздуха; c_x — коэффициент, учитывающий влияние формы носовой или хвостовой поверхности.

Коэффициент c_x характеризует аэродинамическое совершенство и определяется, в большинстве случаев, экспериментально. Коэффициент воздушного сопротивления c_x высокоскоростных поездов невелик, находится в пределах 0,2—0,4. Для сравнения можно указать, что параллелепипед имеет $c_x = 0,9$, а капля — 0,05. Однако изучению лобового аэродинамического сопротивления высокоскоростных поездов, скорее в силу традиций, перешедших из авиации и автотранспорта, уделяют большое внимание¹. Снизить аэродинамическое лобовое и хвостовое сопротивления можно двумя способами: уменьшить площадь сечения, т.е. размеры вагона, или улучшить форму. Но эти способы зачастую противостоят требованиям рациональной планировки и снижают полезную площадь поезда. Особенно это заметно на примере японских высокоскоростных поездов — форма носовой части головных вагонов становится все более вытянутой (рис. 13.10, 13.11, 13.12). На ВСМ Японии и некоторых европейских стран с множеством тоннелей такое конструктивное решение оправдано и позволяет снизить ударные аэродинамические нагрузки на подвижной состав при входе головных вагонов в тоннели.

Для высокоскоростных поездов длиной более 200 м, эксплуатирующихся на открытых пространствах, главное — обтекаемость всего поезда и исключение выступающих частей. Исследования компании «Bombag-

¹ Немаловажным является внешний вид высокоскоростного поезда, его восприятие потенциальными заказчиками и общественностью, которые связывают скорость с аэродинамическими формами — феномен хорошо известен еще со времен паровозной тяги.

а



б



в



Рис. 13.10. Носовые оконечности головных вагонов некоторых поездов: а — серии 0 (ноль), 1964 г. Япония; б — серии 500, 1995 г., Япония; в — опытного поезда Fastech 360S, 2005 г. Япония

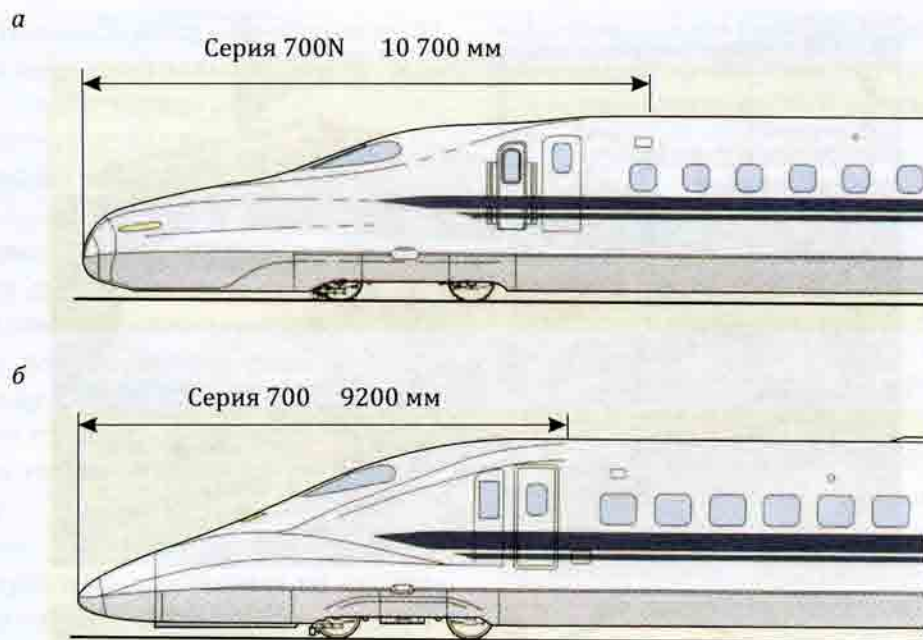


Рис. 13.11. Сопоставление длины носовой оконечности головных вагонов последних моделей японских высокоскоростных поездов: а — серии N700 (2007 г.); б — серии 700 (1999 г.)

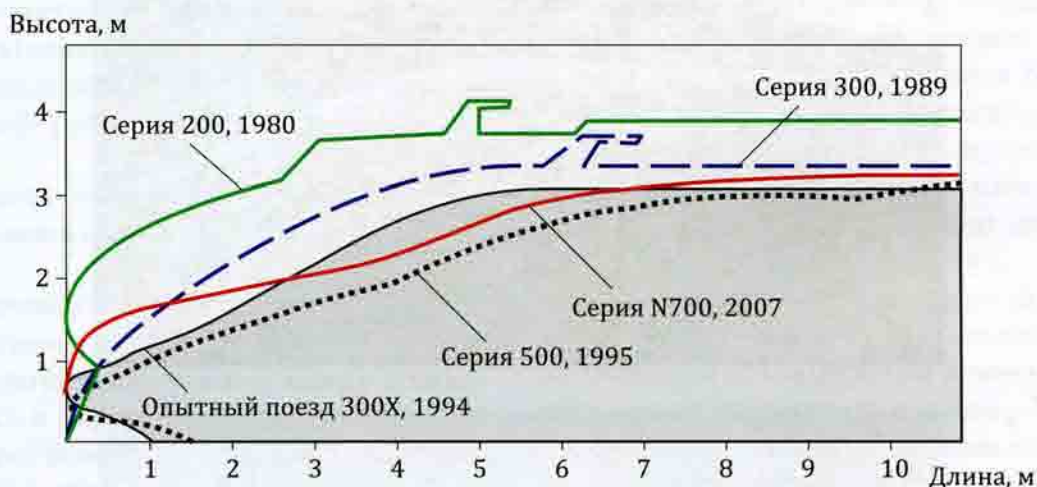


Рис. 13.12. Профили носовых частей головных вагонов некоторых японских высокоскоростных поездов (после наименования поезда указан год его выпуска)

dier»¹ показали, что в величину общего аэродинамического сопротивления высокоскоростного поезда головная и хвостовая части поезда вносят только 25—30 %.

Боковое сопротивление обшивки и подкузовной части составляет 40—45%, токоприемников ~11%, тележек ~12%, зазо-

ров между вагонами ~4% от общего аэродинамического сопротивления движению. В последние годы уделяется большое внимание формам подкузовной части, улучшению обтекаемости тележек и межвагонных переходов.

Сопротивление воздуха от трения о стенки вагонов (боковое сопротивление) пропорционально наружной площади поезда и первой степени скорости, определяют по формулам

¹ Ореллано А., Кирчхоф К. Оптимизация аэродинамики высокоскоростных поездов // Железные дороги мира. 2011. № 9. — С. 42—46.

$$F = a_1 Lv, \quad F = a_2 Bv,$$

где a_1 и a_2 — некоторые численные коэффициенты; L — длина поезда; B — наружная площадь поверхности поезда.

Однако эти формулы справедливы только при ламинарном обтекании. Прилегающий к поверхности какого-либо тела слой воздуха сталкивается с микронеровностями покрытия и разгоняется — образуется так называемый пограничный слой. Пока это течение находится в ламинарном состоянии, т.е. все частицы движутся в одном направлении, толщина пограничного слоя невелика и сопротивление трению пропорционально скорости в первой степени. При высоких скоростях во время встречи с крупными препятствиями траектории движения частиц воздуха становятся хаотичными и поток воздуха переходит в турбулентное состояние, пограничный слой расширяется, вместе с тем увеличивается трение, — становится пропорциональным скорости во второй степени. Таким образом, для уменьшения трения необходимо обеспечение гладкости кузова, чтобы поток оставался ламинарным. Для этого необходимо уменьшать зазоры в элементах кузова; убирать поручни и ручки, выступающие детали уплотнения на дверях; вводить так называемое «ленточное остекление», при котором несколько или весь ряд окон на одной стороне вагона перекрыт снаружи единым стеклянным покрытием без разрывов и зазоров между окнами, и т.п.

Воздействие бокового ветра в аэродинамике подвижного состава — аспект не менее важный, чем сопротивление движению, так как боковой ветер может опрокинуть поезд, создавая опрокидывающий момент: разгружая колеса поезда с одной стороны и нагружая с другой. Наиболее опасен ветер, дующий под острым углом навстречу поезду. В этом случае векторы скорости ветра и поезда складываются и опрокидывающий момент возрастает. Для защиты от бокового ветра на некоторых участках, где возможен сильный ветер, устанавливают экраны (см. рис. 17.17) и размещают автоматические измерительные приборы, которые пе-

редают в центр управления данные о силе и направлении ветра. Современные поезда типа TGV Duplex допускают боковой ветер до 115 км/ч при скорости поезда 300 км/ч.

Вопросы аэродинамики изучаются теоретически и экспериментально. Теоретические исследования основаны на интегрировании уравнений гидродинамики. Но в условиях турбулентного движения воздуха их решения зачастую оказываются далекими от практики. В последние годы создан ряд современных средств автоматизированного проектирования (например система «Catia V6»), позволяющих на стадии проектирования определять характеристики аэродинамического сопротивления и устойчивости к боковому ветру. Теоретические выводы проверяют экспериментально: осуществляют продувку моделей поездов в аэродинамических трубах (см. рис. 13.30) и проводят натурные испытания поездов. При натурных экспериментах для определения коэффициентов сопротивления выключают тяговые двигатели и по замедлению определяют коэффициент аэродинамического сопротивления. К сожалению, точность такого эксперимента невысока, так как свой вклад в сопротивление движению вносят колебания подвижного состава, трение в тяговых передачах на холостом ходу и сопротивление качению колес по рельсам. Точность методов непрерывно повышается, и новые высокоскоростные поезда приобретают все более совершенные аэродинамические формы.

В Европейском Союзе основные требования к аэродинамическим характеристикам, обеспечивающим безопасную эксплуатацию высокоскоростных поездов, изложены в Технических требованиях ЕС по технико-эксплуатационной совместимости (TSI) и охватывают ряд факторов, в частности:

- устойчивость к воздействию бокового ветра и снижению риска схода поезда с рельсов при определенных климатических условиях на специфических участках пути (например, на мостах, и насыпях);

- защита персонала, занятого в работах на линии, и пассажиров на платформах при прохождении высокоскоростных поездов;

— уменьшение воздействий перепадов давления на открытых участках и в тоннелях;

— ограничение вероятности выброса балласта при высокой скорости движения поездов;

— снижение волн микродавления в случае возникновения звукового удара у выходного портала тоннеля при входе поезда с высокой скоростью в тоннель с противоположной стороны.

13.2. Кузова вагонов и локомотивов высокоскоростного подвижного состава

Требования к прочности кузовов и обеспечению безопасности пассажиров при авариях. Безопасность зависит от конструкции всего комплекса технических средств железной дороги. Движущийся с высокой скоростью поезд является потенциальным источником опасности из-за огромной кинетической энергии. Типичными и наиболее опасными случаями нарушения нормального движения, приводящими к авариям и катастрофам, являются столкновения и сходы с рельсов.

Обычно при проектировании подвижного состава устанавливается несколько условных режимов действия внешних нагрузок. В силу традиций для разного вида подвижного состава они носят различные названия. Однако суть их в следующем.

Режим умеренных продольных сил (<1 МН) и допускаемой скорости движения ($V \sim V_{\text{const}}$). Этому режиму соответствуют силы, возникающие при эксплуатации подвижного состава с допускаемой скоростью, вплоть до конструкционной. Рассматривается движение подвижного состава в прямых, в кривых и по стрелочным переводам, при служебных торможениях. Число таких нагружений в продольном направлении измеряется тысячами в год, а в вертикальном — даже миллионами. Поэтому основное требование этого режима — недопущение устало-

стного разрушения узла или детали вагона при действии многократно повторяющихся нагрузок в движущемся поезде. Допускаемые напряжения в узлах подвижного состава определяются, исходя из предела выносливости материала.

Режим больших продольных сил ($>1,5$ МН) и малой скорости движения (<20 км/ч). Этому режиму обычно соответствуют силы, возникающие при маневрах и в аварийных ситуациях, при экстренных торможениях, столкновении, а также при аварийном рывке (толчке) вагона. Основным требованием этого режима является недопущение остаточных деформаций в узлах или деталях подвижного состава. Число таких нагружений за срок службы ограничено, и не превышает нескольких десятков или сотен тысяч. Поэтому при расчетах по этому режиму допускаемые напряжения устанавливаются близкими к пределу текучести материала и пределу прочности.

Режим катастрофически больших сил ($>3,0$ МН; $v > 20$ км/ч). Этому режиму соответствует аварийная ситуация, связанная со столкновением или сходом с рельсов на высоких скоростях (более 20 км/ч). Вопрос о последствиях удара для подвижного состава здесь не ставится, главное — сохранение жизни локомотивной бригады и пассажиров.

Защита пассажирского салона и служебных помещений при аварийном столкновении обеспечивается рассеиванием энергии удара за счет:

- работы поглощающих аппаратов и рессорного подвешивания тележек;
- работы дополнительных аварийных амортизаторов разового действия;
- деформации и разрушения междвагонных соединений и тамбурных (концевых) частей кузова, которые преднамеренно проектируют меньшей прочности, создавая так называемые «жертвенные части», при деформации принимающие на себя значительную часть энергии, сохраняя от разрушений пассажирские салоны (рис. 13.13);
- деформаций, в том числе пластических, средней части кузова.



Рис. 13.13. Деформация жертвенной части кузова при испытании на продольное сжатие; смятие и выпучивание элементов конструкции крыши и рамы в районе тамбура вагона электропоезда «Сокол». Россия, 1999 г.

Прочностные расчеты кузова ведутся с учетом предельных свойств материалов¹. Сложность выбора критерия объясняется большим количеством случайных факторов в аварии.

В качестве критериев безопасности предлагается принимать:

- продольное усилие, соответствующее потере устойчивости жизненного пространства салона для пассажиров;
- ускорение центра масс вагонов;
- энергоемкость деформируемой в аварийной ситуации части кузова.

В действующих в Российской Федерации Нормах [4] предложено использовать в качестве критерия ускорение $4g$, продольную силу 2 МН и энергоемкость при действии этой силы не менее 400 кДж . В соответствующих Нормах для электропоездов [22] предложено в качестве разрушающих продольных ударов считать усилия порядка 3 МН , энергоемкость штатных и аварий-

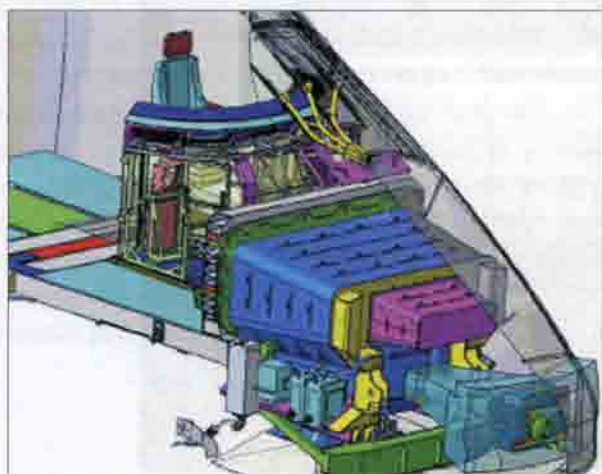
ных деформированных элементов вагонов не менее 2 МДж , а энергоемкость кузова не менее 1 МДж .

При создании поезда TGV-2N в качестве критериев безопасности было принято продольное усилие 5 МН , а ускорение $5g$.

При выборе формы кузова головного вагона и локомотива высокоскоростных поездов учитываются требования по обеспечению безопасности локомотивных бригад и пассажиров при аварийных столкновениях. В носовой части кузова первого вагона (локомотива) размещают сцепное устройство повышенной энергоемкости и аварийные амортизаторы удара, предназначенные для защиты в случае наезда поезда на препятствие (рис. 13.14, 13.29). В последние годы разработаны аварийные амортизаторы удара с большой энергоемкостью, что позволяет обеспечить необходимые конструктивные параметры без увеличения длины носовой части головного вагона (локомотива). Широкое применение нашли ячеистые металлические конструкции (рис. 13.15), которые при аварийном соударении сми-

¹ Нормативы расчетных нагрузок для данного случая еще не отработаны и в разных странах принимаются свои показатели.

а



б



Рис. 13.14. Конструкция носовой части головного вагона высокоскоростного поезда AGV с энергопоглощающими модулями: а — схема размещения; б — общий вид на сборочном стапеле завода

наются и поглощают значительное количество энергии.

Стремление снизить массу вагона, увеличить жесткость кузова, повысить его надежность и долговечность, обеспечить красивый внешний вид заставляют вагоностроителей искать новые материалы и применительно к ним — соответствующие конструктивные и технологические решения. Опыт создания высокоскоростных поездов позволяет выделить наиболее перспектив-

ные конструкционные материалы: алюминиевые сплавы и нержавеющую сталь. В последние годы весьма хорошо зарекомендовали себя в производстве и эксплуатации конструкции из слоистого пластика, армированного стекло- и углеволокном, а также многослойные или сотовые панели из металла и пластика.

Алюминиевые сплавы отличаются от углеродистых сталей более высокой прочностью при низкой плотности, повышенной коррозионной стойкостью, они хорошо поддаются обработке резанием и давлением. Кузова из алюминиевых сплавов имеют большую энергоемкость при аварийных соударениях.

Но наряду с отмеченными преимуществами алюминиевые сплавы имеют и недостатки: модуль упругости сплавов почти в три раза меньше, чем стали. Поэтому для устранения опасности потери устойчивости и снижения частоты собственных колебаний конструкции из алюминиевых сплавов изготавливают с большим поперечным сечением.

В первых скоростных поездах применялись главным образом алюминиевые гофрированные и холодноштампованные листы или прессованные профили. В кузовах вагонов современных высокоскоростных

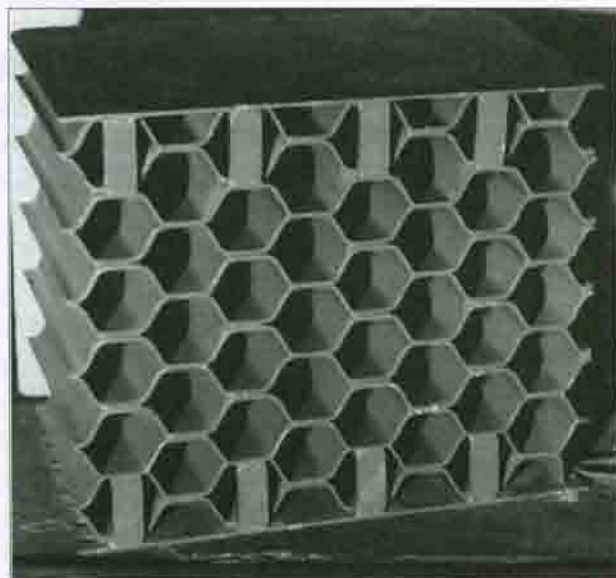


Рис. 13.15. Ячеистая металлическая конструкция для поглощения энергии удара

поездов используются, в основном, крупно-размерные экструдированные элементы из алюминиевых сплавов, которые менее подвержены короблению и выпучиванию.

В технически развитых странах для соединения элементов кузова освоена электродуговая сварка алюминиевых сплавов в среде защитных газов (рис. 13.16). Однако, несмотря на широкое распространение, она имеет и ряд недостатков, которые трудно избежать: изменение механических свойств материала в зоне шва; пористость шва, наросты металла (валик сварочного шва), высокая энергоемкость и т.д.

В последние годы все большее применение при соединении длинных экструдированных профилей в широкую панель для железнодорожного подвижного состава находит техника «фрикционной сварки вращением». Этот способ применен в Японии

при создании поездов серии 700, N700, E5; фирмой Alstom при изготовлении поездов Pendolino и др. Техника сварки основана на приведении алюминия в зоне шва в состояние текучести (как при экструдировании) за счет тепла, выделяемого при трении, с последующим перемешиванием расплавленного металла соединяемых профилей. Затем следует остывание места соединения под формирующим давлением инструмента (рис. 13.17).

За рубежом наряду с алюминиевыми сплавами широко используются и нержавеющие стали.

В последние годы при изготовлении кузовов вагонов предпочтение отдается новым конструкционным материалам. Широкое применение находит новый тип несущих листовых конструкций — трехслойные панели (сэндвич-панели). В них листовая кон-



Рис. 13.16. Изготовление кузова вагона поезда Pendolino с применением автоматической электродуговой сварки

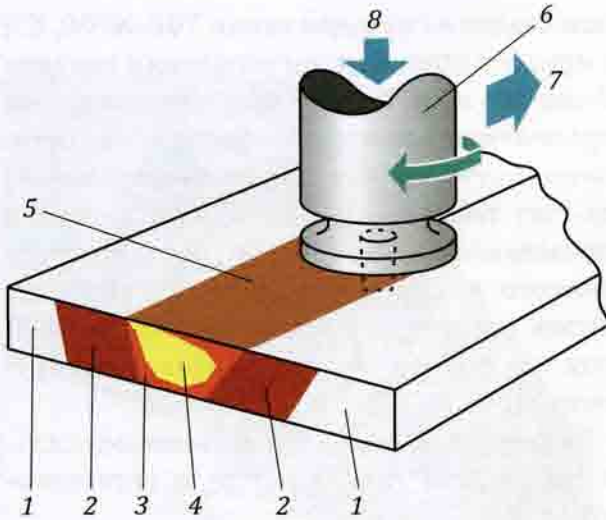


Рис. 13.17. Схема установки фрикционной сварки: 1 — соединяемые детали; 2 — зона нагрева; 3 — зона термомеханического воздействия на свариваемые детали; 4 — ядро свариваемого шва; 5 — обрабатываемая поверхность сварного шва; 6 — вращающийся инструмент; 7 — направление движения рабочего инструмента; 8 — давление инструмента на свариваемые детали

струкция непрерывно подкрепляется слоем из легких пористых или ячеистых материалов (пенополистирол, пенополиуретан), причем обшивка может быть как металлической, так и композитной. Наружная и внутренняя обшивки кузова, соединенные непрерывным подкрепляющим слоем, образуют трехслойные плиты, способные эффективно воспринимать сжимающие, растягивающие и изгибающие нагрузки и препятствовать распространению вибраций. Пористый подкрепляющий слой одновременно является хорошей тепло- и звукоизоляцией, поэтому их использование в пассажирских салонах вагонов высокоскоростных поездов особенно перспективно.

Для выполнения нормативных требований современного подвижного состава — по жесткости, деформируемости и прочности, кузова изготавливаются цельнонесущими. Сборку кузова производят из следующих частей: рама с полом, две боковые и две торцевые стены, крыша и перегородки, разделяющие пассажирское помещение на салон, тамбуры и купе (см. рис. 13.20 и 13.28). Пространственную несущую систему кузова, функционально относительно рамы, можно разделить на верхнюю часть,

являющуюся собственно кузовом, обеспечивающим полезно используемый объем для пассажиров, и нижнюю систему, являющуюся пространством для размещения оборудования и вспомогательных агрегатов. В некоторых кузовах нижняя часть не является несущей, а представляет собой фальшборты, закрывающие находящееся под вагонами оборудование. В других случаях нижняя часть включена в силовую конструкцию, что существенно увеличивает жесткость кузова.

По характеру устройства несущих элементов кузова современного подвижного состава выделяют три основных системы.

Подкрепленные листовые системы, в которых несущими элементами являются листы из алюминия, нержавеющей или обычной стали и связанный с ними набор стержней (балок, стоек, дуг и т.п.). Тонкие листы в несущей конструкции такого кузова, ограждающие его объем от внешней среды, принято называть обшивкой. Для предотвращения выпучивания листов их часто выполняют гофрированными или подкрепляют продольными элементами — стрингерами. Соединение осуществляют сваркой или на заклепках. Из-за наличия сварочных деформаций, поверхность листов имеет видимые глазом деформации — выпуклости и вмятины.

Каркасные системы, в которых нагрузки воспринимаются и передаются массивными коробчатыми стержнями. Наружная обшивка способствует повышению общей жесткости системы. В качестве облицовки могут применяться легкие листы из сплавов и стеклопластика, так как обшивка не является основным несущим элементом и меньше подвержена вспучиванию, она получается более гладкой.

Панельные системы, нагрузки в конструкциях воспринимаются несущими панелями, состоящими из наружных и внутренних пластин, которые соединяются для совместной работы. Такие панели выполняются преимущественно в двух вариантах. Используют полые экструдированные профили, соединенные с помощью сварки в основные сборочные единицы (пол, сте-

ны, крыша) и сотовые панели (сэндвич-системы), в которых нагрузки воспринимаются несущими панелями, состоящими из наружной и внутренней оболочек, соединенных для совместной работы легкими пористыми пенополиуретановыми и сотовыми алюминиевыми или композитными наполнителями.

Экструдированные панели после чистой обработки мест электродуговой сварки практически не подвержены короблению и выпучиванию и имеют высокую местную прочность и хороший внешний вид. Достоинством таких панелей является также выполнение ими не только несущих, но и вибро-, звуко-, теплоизоляционных функций.

Листовые подкрепленные системы кузова состоят из типовых узлов (рис. 13.18). Типичным примером такой конструкции являются кузова вагонов электропоезда ЭР200. Сварная рама (без хребтовой балки) собрана из двух консольных частей, двух прямоугольных элементов в виде прессованных профилей прямоугольного сечения и набора поперечных балок. Концевые и шкворневые балки, а также центральная балка головного вагона выполнены из листов толщиной 10—14 мм, а раскосы изготовлены из прессованного профиля коробчатого сечения. Поперечные балки рамы сделаны из прессованного швеллера высотой 120 мм и шириной полки 60 мм.

Сварная рама кузова покрыта несущим полом, собранным из гофрированных листов толщиной 2 мм. Соединение стыков листов осуществляется только на поперечных балках рамы. Использование гофрированных листов в конструкции пола предусматривалось для полного включения пола в работу кузова при изгибе, сжатии и растяжении.

Крыша изготовлена из гофрированного листа, подкрепленного изнутри потолочными дугами. Средняя часть собирается из двух листов толщиной 2 мм и имеет 14 гофров с шагом 170 мм. Скаты крыши для придания большой жесткости выполнены в поперечном сечении с небольшим радиусом закругления и обшиты гладким листом толщиной 3 мм. Дуги изготовлены из прес-

сованного Z-образного профиля и приварены к листам точечной сваркой.

Для боковой стенки кузова использованы гофрированные листы толщиной 3 мм, армированные горизонтальными и вертикальными элементами жесткости. Все элементы жесткости изготовлены из прессованных профилей Z-образного сечения, за исключением верхнего продольного обвязочного профиля, имеющего Т-образную форму. При сборке боковых стен первоначально собирают стойки оконных и дверных проемов. Профили и стойки соединяют с гофрированными листами обшивки контактной точечной сваркой.

Торцовая стена имеет каркас, сваренный из прессованных швеллерообразных профилей, которые обшиты гофрированным листом алюминия толщиной 3 мм. Каркас лобовой стены головного вагона сделан из прессованных профилей различных сечений. В передней части стены расположены две сварные вертикальные балки.

Для передачи усилия от вертикальных стоек на стойки боковых стен, раму и крышу под окнами лобовой стены смонтирована основная горизонтальная балка. В каркас входит также ряд вертикальных и горизонтальных профилей, придающих лобовой стене головного вагона необходимую форму. Снаружи каркас обшит листом толщиной 2 мм.

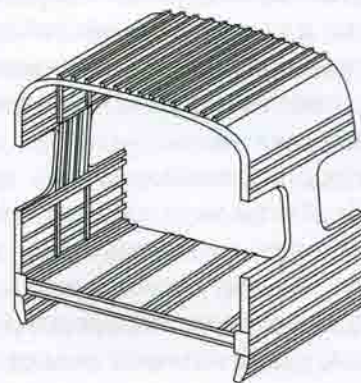
Так подробно описанная на примере электропоезда ЭР200 конструкция получила значительное распространение в 1960—70-е годы XX в., в частности, при изготовлении кузовов вагонов японских высокоскоростных поездов серии 0 (рис. 13.19) и серии 200, позднее — в современных поездах.

Однако, как показали испытания и опыт эксплуатации, относительно простые в изготовлении кузова листовой системы имеют существенный недостаток. Нижняя частота их изгибных колебаний в ряде случаев оказывается менее 8 Гц и может совпадать с частотой галопирования или подпрыгивания рамы тележки. В этом случае плавность хода вагонов существенно ухудшается, становятся заметны вибрации.

а



б



в

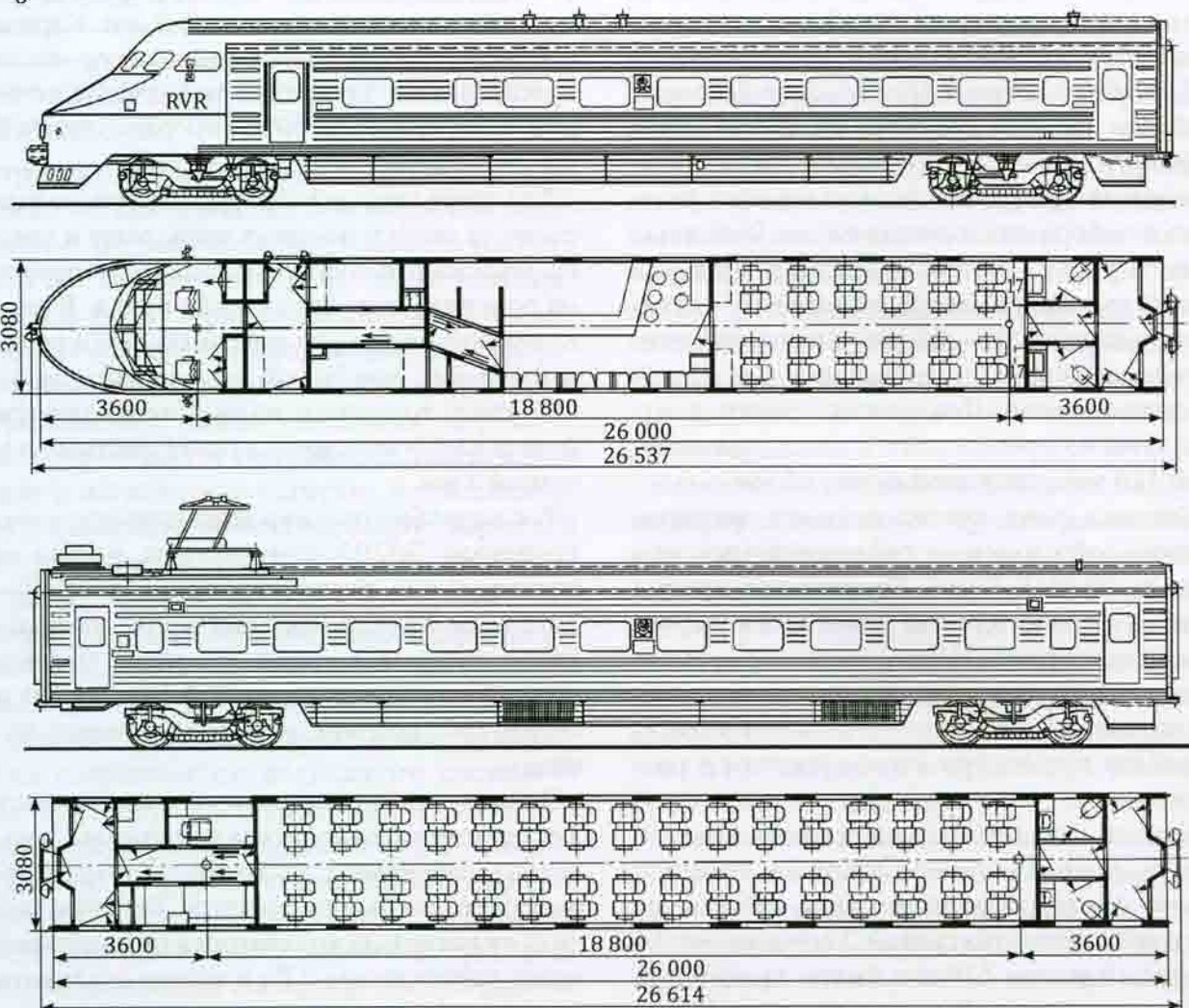


Рис. 13.18. Электропоезд ЭР200: а — общий вид; б — элементы конструкции кузова вагона; в — основные размеры кузовов головного и промежуточного вагонов

Каркасная несущая система создана в результате поиска более рациональных конструктивных схем стальных и алюминиевых кузовов. Такие кузова имеют каркас из стержней закрытого или открытого профиля, передающий основные нагрузки совместно с наружной обшивкой. В этих конструкциях допускается применение различных материалов для изготовления каркаса и обшивки.

Нижняя часть вагона (рама) состоит из хребтовой, боковых и шкворневых балок коробчатого сечения. Гофрированная обшивка нижней части кузова и пол увеличивают жесткость всей системы.

Боковые стенки кузова представляют собой решетку из стоек и балок различной толщины, что позволяет выполнять поперечные соединения за счет запрессовки тонких элементов в толстые (как правило, стойки), образуя со сварными соединениями устойчивую жесткую систему.

Обшивка прикрепляется точечной сваркой к каркасу (стойкам и стрингерам), поэтому ее деформации после изготовления значительно меньше, чем в листовых системах. Для повышения жесткости крыши вместо дуг используются арки, устойчивость обшивки крыши обеспечивают гофрированные ребра.

Жесткость кузова каркасного типа выше, чем у листовых конструкций с подкреплениями. Однако разнообразие конструктивных элементов увеличивает трудоемкость изготовления и стоимость вагона. Наличие следов от контактной сварки вызывает необходимость применения шпатлевки для сглаживания поверхности, что увеличивает массу вагона.

Типичным примером такой конструкции являются вагоны поездов семейства TGV. Общий вид вагона и конструктивная схема кузова вагона поезда TGV показаны на рис. 13.20. Рама кузова несимметрична (приведен пример концевой вагона, сцепленного с электровозом), что связано с различными способами опирания кузова. В левой части кузов опирается на тележку через шкворневую балку (на рис. 13.20, б — сторона А), а в правой (сторона Б) — на об-

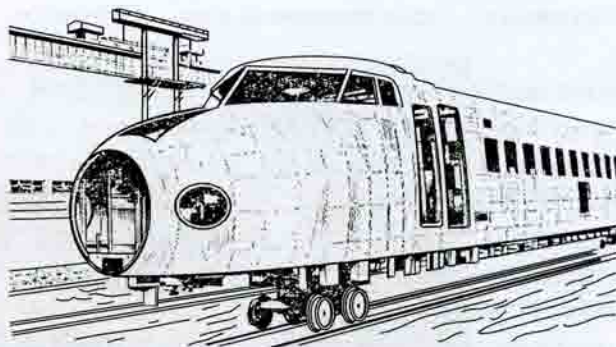


Рис. 13.19. Кузов головного вагона поезда серии 0 (ноль) на технологических тележках. Япония. 1964 г.

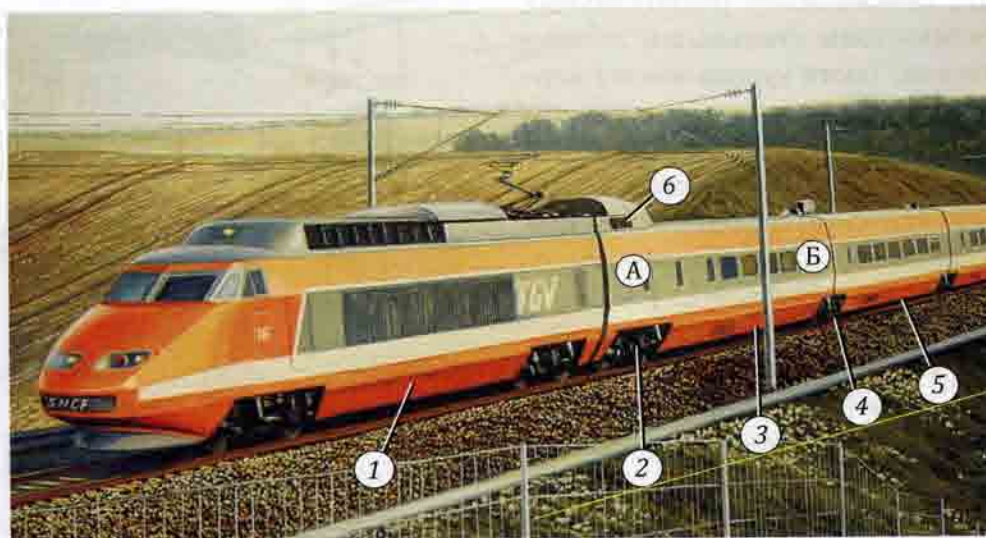
щую (промежуточную) поддерживающую тележку двух сочлененных вагонов. Обращает на себя внимание мощный каркас боковых стен. Нижняя часть кузова выполнена в виде рам, соединенных продольными элементами, пол и крыша — гофрированы. По данным испытаний, нижняя частота такого кузова больше 10 Гц.

Панельная система позволяет создать кузов вагона еще более прочной, жесткой и надежной конструкции с меньшей массой. Основная идея заключается в изготовлении несущей конструкции из крупногабаритных экструдированных алюминиевых профилей в виде двухслойной оболочки кузова. Экструдированные профили имеют высокую жесткость и хорошо сопротивляются короблению при сварке. Их соединяют продольными швами автоматической сваркой в большие панели с высокой готовностью к сборке. Для обеспечения необходимого внешнего вида применяется фрезерование сварных швов.

Панели из экструдированных профилей обладают не только большой изгибной жесткостью, но и высокой местной прочностью, что позволяет воспринимать сосредоточенные нагрузки. Это свойство используется для крепления оборудования. Главным преимуществом таких конструкций является снижение затрат на изготовление и уменьшение числа компонентов.

Однако, если к панелям не прикладываются сосредоточенные нагрузки, то их прочность оказывается избыточной, а тепло-

а



б

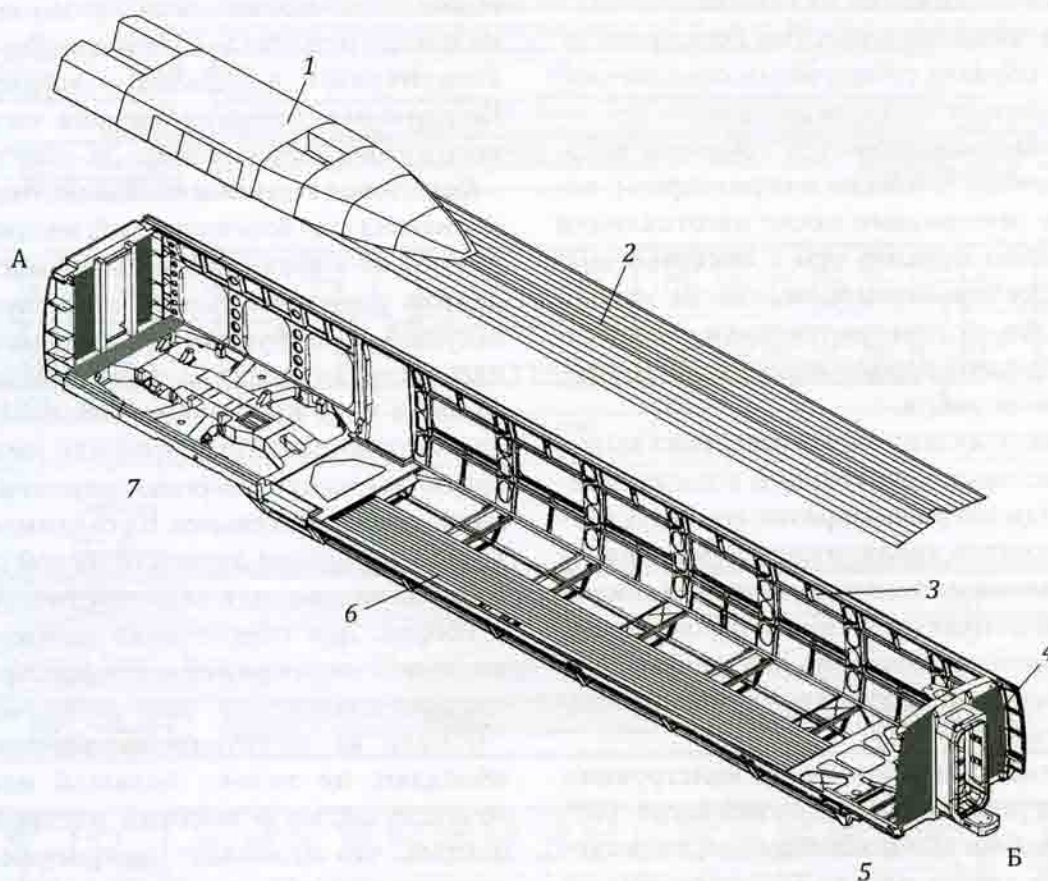


Рис. 13.20. Электровоз и концевой вагон поезда TGV PSE: а — общий вид; 1 — локомотив; 2 — индивидуальная поддерживающая тележка вагона; 3 — концевой сочлененный вагон; 4 — общая (промежуточная) тележка сочлененных вагонов; 5 — сочлененный вагон; 6 — обтекатель на крыше концевой вагона; б — конструкционная схема кузова концевой вагона: 1 — обтекатель на крыше; 2 — крыша; 3 — боковая стена; 4 — торцевая стенка; 5 — место расположения общей промежуточной тележки; 6 — рама вагона; 7 место расположения индивидуальной тележки; А — сторона вагона, обращенная к локомотиву; Б — сторона вагона, обращенная к соседнему вагону

и звукоизоляционные свойства недостаточны. В этих условиях предпочтительными оказываются сэндвич-панели или сотовые элементы.

Типичные панельные конструкции кузовов высокоскоростных поездов имеют следующую принципиальную схему. Для изготовления пола и рамы используются экструдированные профили. На нижней стороне, как правило, имеются направляющие, к которым крепятся модульные блоки подкузовного оборудования. Боковые стенки с вертикальными стойками оконных и дверных проемов изготавливаются в виде панелей из экструдированных профилей с усиливающими элементами.

Одними из первых в массовом производстве вагонов применили эту конструкцию в Японии при создании вагонов высокоскоростного поезда серии 300 (введен в эксплуатацию в 1992 г.), в котором наряду с облегченной конструкцией кузова было внедрено немало других технических и технологических новинок (рис. 13.21).

С использованием технологий, близких к этой, изготовлены вагоны поездов Talgo, ICE3 (рис. 13.22), вагоны поездов TGV 2N (рис. 13.23), IC-2000. Крыши вагонов некоторых поездов выполняют из полых конструкций со встроенными воздуховодами систем кондиционирования воздуха.

В разных странах в конце 90-х годов XX столетия проводились научные и опытно-конструкторские разработки с целью выбора лучших конструкций кузовов вагонов и локомотивов. В частности, исследовались кузова оболочкового типа, состоящие из наружной и внутренней оболочек, соединенных так, чтобы они по возможности работали совместно. В опытном японском высокоскоростном электропоезде 300Х кузова вагонов были изготовлены из легких сплавов на основе алюминия с применением разных технологий: из объемных экструдированных панелей; из сотовых панелей, листовые пластины которых имеют наполнитель из алюминиевого листа в виде пчелиных сот с шестигранными ячейками, соединенными пайкой в вакууме; по авиационной технологии — клепкой штам-

пованных дюралюминиевых элементов (рис. 13.24).

В процессе испытания вагонов японского опытного поезда 300Х лучшие результаты (наименьшая удельная масса, наибольшая жесткость и прочность конструкции) показал кузов из сотовых паяных панелей, но он оказался и самым дорогим в производстве. Технология с применением сотовых паяных панелей использовалась при изготовлении вагонов высокоскоростного поезда серии 500 (рис. 13.25), но дальнейшего развития не получила. Не нашли применения для высокоскоростного подвижного состава и клепаные конструкции авиационного типа.

Наиболее перспективной оказалась конструкция, в которой применены объемные экструдированные панели из алюминиевых сплавов, называемые в зарубежной печати «двойная оболочка» (англ.: «double skin»). В первом десятилетии XXI века их использовали при изготовлении кузовов вагонов японских поездов серии 700, 700T, N700, E5 (рис. 13.26). Характерной особенностью этих панелей являются диагональные внутренние ребра жесткости между тонкими оболочками, пространство между которыми заполняется шумо- и виброизолирующей мастикой. Панели обладают большой жесткостью, их применение значительно сокращает объемы ручного труда при сборке кузова. Пространство между несущими панелями кузова и элементами обшивки интерьера заполняется пенистой звуко-теплоизолирующей массой. По мнению японских специалистов, конструкция кузовов поездов серий 700, N700 (рис. 13.27) обладает высокими технико-эксплуатационными показателями и является одной из самых технологичных и дешевых при поточном производстве.

Современное производство железнодорожного подвижного состава, включая локомотивы и вагоны для высокоскоростного движения, базируется на широкой кооперации, включая международную, и основывается на организации поточного производства, при котором на окончательную сборочную позицию поставляются предва-

а



б

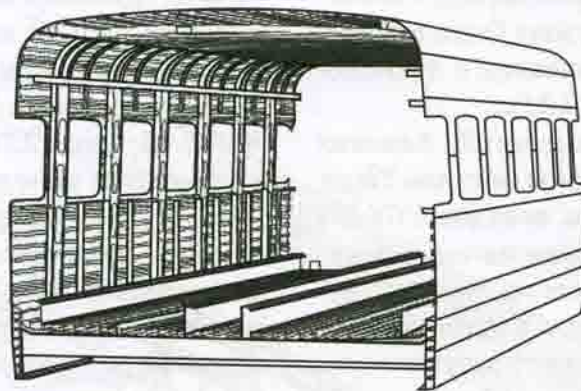
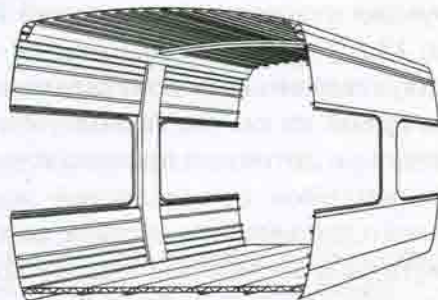


Рис. 13.21. Поезд серии 300: а — общий вид головного вагона; б — элементы конструкции кузова. Япония. 1992 г.

а



б

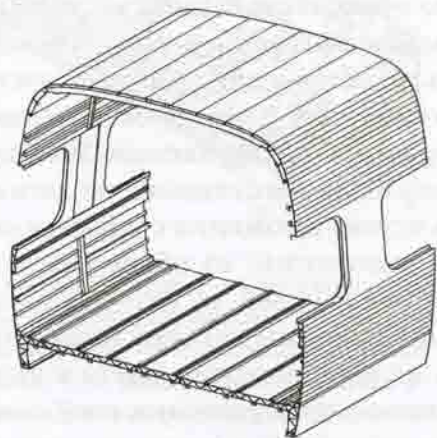


Рис. 13.22. Конструкции элементов кузовов вагонов: а — Talgo; б — ICE3

а



б

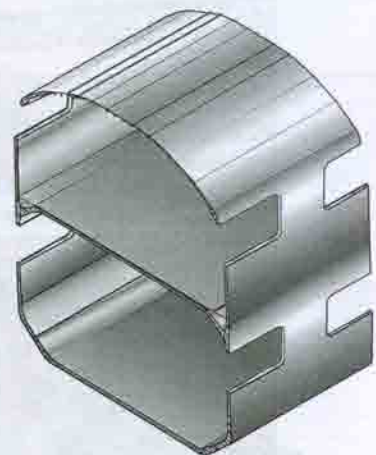


Рис. 13.23. Двухэтажные вагоны поезда TGV2N, изготовленные с использованием длинномерных панелей из легких сплавов: а — стенки кузова вагона в сборочном цехе завода компании Alstom. Франция. 2006; б — схематическое изображение элементов

рительно собранные крупные узлы и агрегаты. Кузов вагона состоит из нескольких крупных сборочных секций (блоков): рамы с элементами крепления подвагонного оборудования и пола, боковыми и торцевыми стенами, крыши (рис. 13.28).

При изготовлении кузовов электровозов в поездах с локомотивной тягой или концевых вагонов для электропоездов, добавляются еще носовые оконечности, имеющие специальные элементы рамы, часто включающие и силовые модули поглощения энергии удара (рис. 13.29, 13.32, 13.33). Носовые оконечности локомотивов или концевых вагонов высокоскоростных поездов имеют обшивку аэродинамической формы, которая, как правило, сложной пространственной формы, определяемой в ходе проектирования расчетами и проверяемой продувкой в аэродинамических трубах моделей, выполненных в различном масштабе, полномасштабных моделей на опытном подвижном составе (рис. 13.30).

Аэродинамическую обшивку часто не включают в силовую схему кузова, с помощью сварки или другими способами ее прикрепляют к несущей раме. Изготовление аэродинамической оболочки — слож-

ная технологическая операция. В Японии, например, оболочки носовых частей концевых вагонов, как правило, выполняют из тонкого листового материала на основе алюминия высокой пластичности, которому придают необходимую пространственную форму на гибочных станках. Затем вручную, с использованием специального инструмента доводят до необходимой формы на деревянных болванках-выколотках. С помощью сварки получают из этих заготовок объемные конструкции, которые прикрепляют к силовой раме, тщательно рихтуют, шпатлюют швы, грунтуют и красят (рис. 13.31). В некоторых конструкциях локомотивов и вагонов применяют аэродинамические обшивки, выполненные из композитных материалов, в частности — стеклопластика (рис. 13.34).

Распространено мнение, что в перспективе для кузовов вагонов высокоскоростных поездов ведущее место должны занять композитные материалы. В настоящее время некоторые детали вагонов французского высокоскоростного поезда AGV изготавливают из углепластика, что позволяет снизить общую массу семивагонного поезда на 70 т (рис. 13.35).

а



б

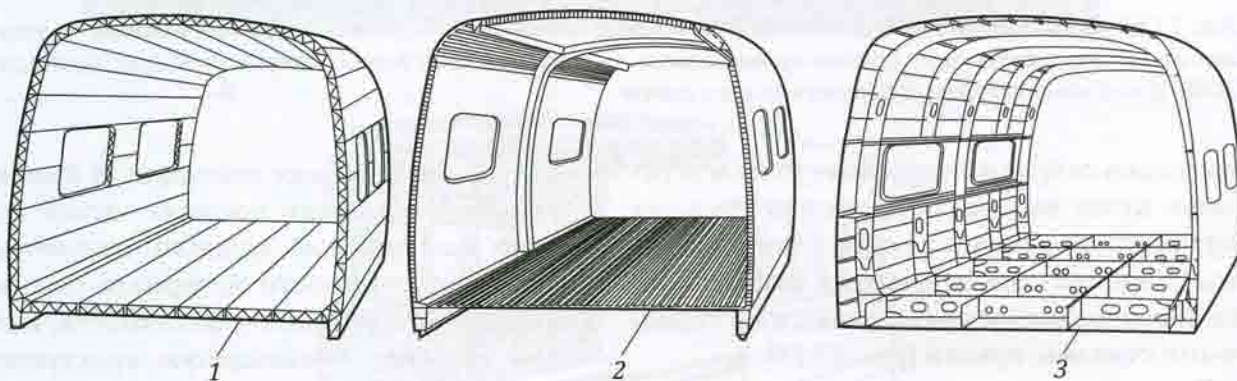


Рис. 13.24. Опытный японский поезд серии 300X (а); б — схематическое изображение различных типов конструкции кузова: 1 — из объемных панелей; 2 — из сотовых паяных элементов; 3 — клепаная конструкция самолетного типа

а



Рис. 13.25 (начало). Поезд серии 500 (а)

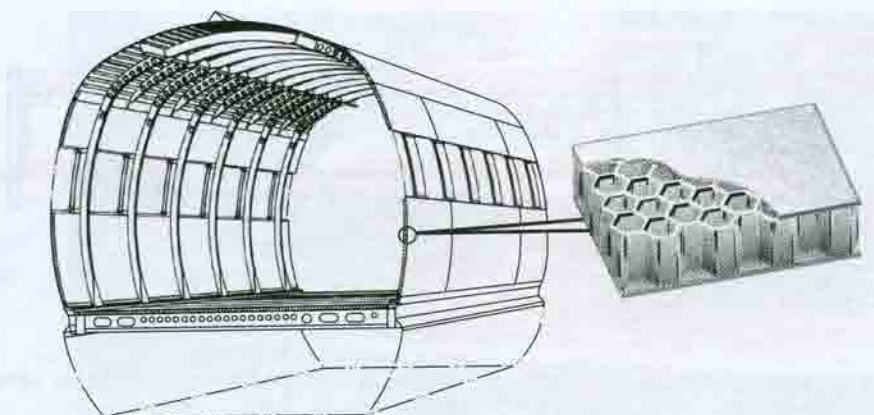


Рис. 13.25 (окончание): б — сечение кузова из сотовых панелей, ячеистая структура

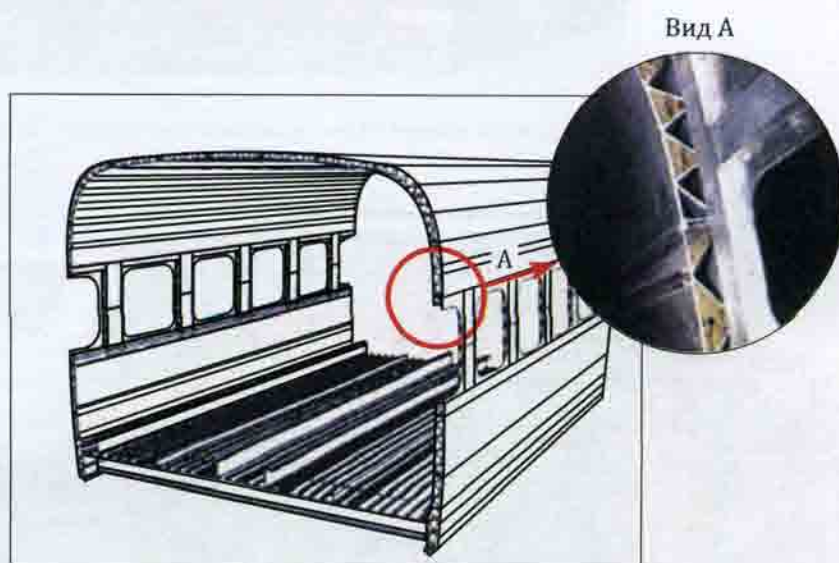


Рис. 13.26. Конструкция кузова вагона поезда серии 700 (Япония) из объемных панелей типа «двойная оболочка»; разрез панели, внутри видна изолирующая масса (справа вид А)



Рис. 13.27. Поезд серии N700. Япония. 2009



Рис. 13.28. Основные элементы кузова концевого вагона высокоскоростного поезда на примере поезда серии 700. Япония

а



б

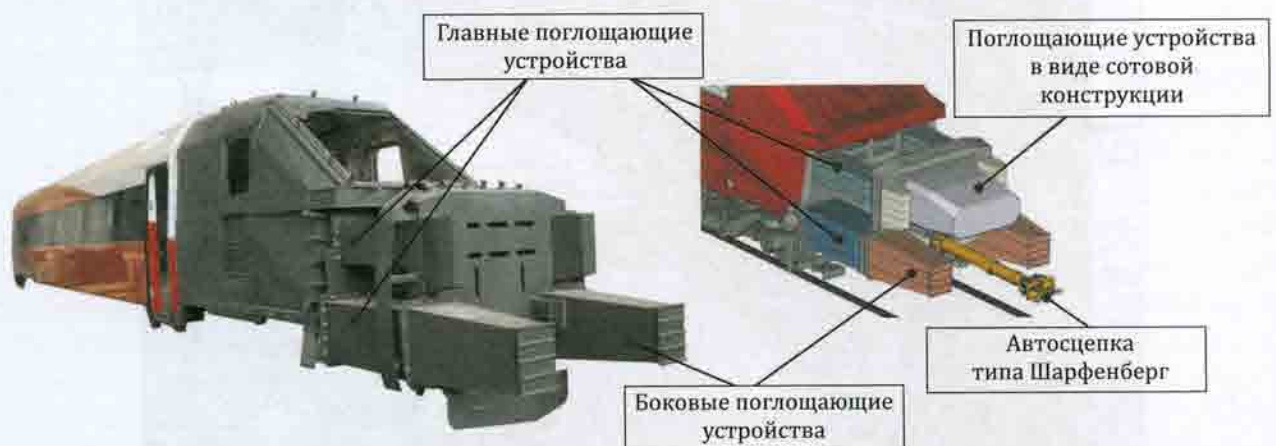


Рис. 13.29. Высокоскоростной поезд V250 «Альбатрос» для железных дорог Бельгии и Нидерландов. Компания AnsaldoBreda. (Италия) 2009 г.: а — общий вид; б — конструкция носовой части головного вагона с устройствами поглощения удара

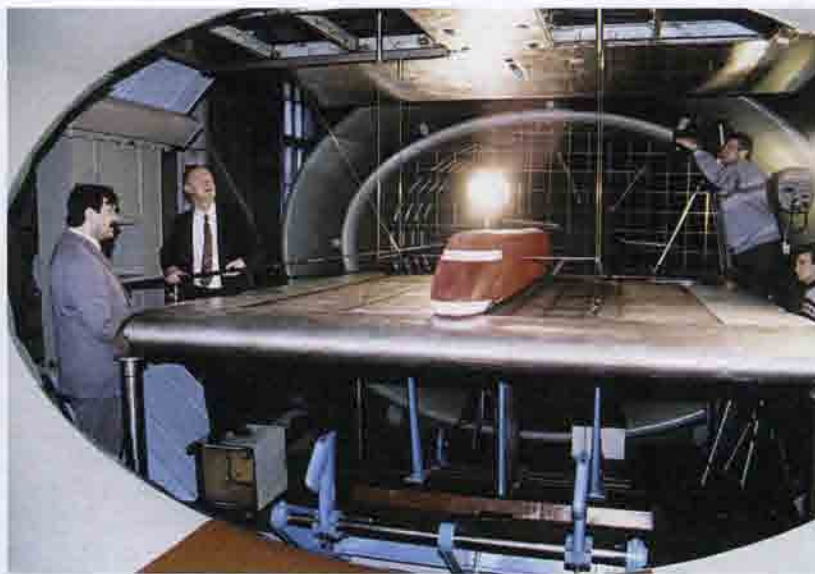


Рис. 13.30. Продувка модели головного вагона высокоскоростного поезда «Сокол» в аэродинамической трубе. Россия. 1995 г.

а



б



Рис. 13.31. Изготовление головного вагона высокоскоростного поезда серии 700 на заводе компании «Кавасаки»: а — сборка объемной рамы носового обтекателя; б — вид обтекателя после обшивки панелями

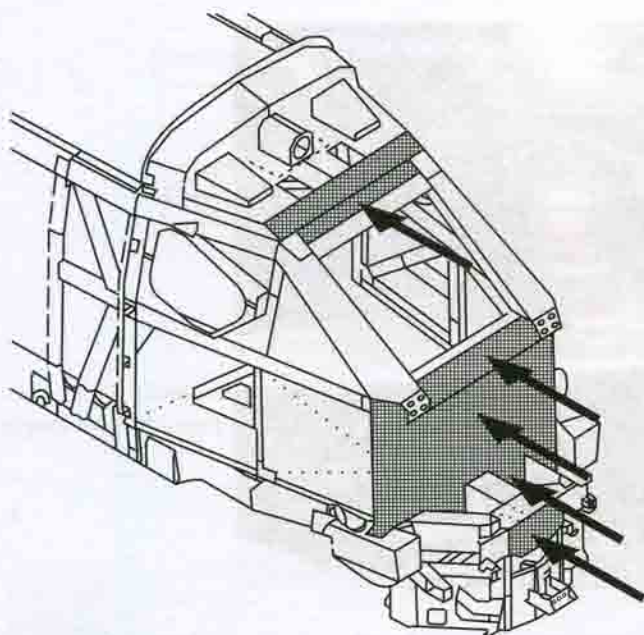


Рис. 13.32. Схематическое изображение конструкции носовой части электро-
воза поезда TGV Duplex с элементами
поглощения энергии удара (заштрихо-
ваны)



Рис. 13.33. Кузов электровоза высокоскоростного поезда КТХ. Завод компании Alstom, Франция, 1996 г.



Рис. 13.34. Обтекатели носовых частей электропоездов высокоскоростных поездов Thalys PBKA (слева) и TGV Duplex, изготовленные из стеклопластика. Завод компании Alstom. Франция. 1996 г.

а



б



Рис. 13.35. Кузов вагона поезда AGV на сборочном стапеле. Франция. 2010 г. (а); оконечные балки кузова из углепластика (б)

13.3. Ходовая часть высокоскоростного подвижного состава

При создании ходовых частей высокоскоростного подвижного состава приходится по-новому ставить и решать задачи обеспечения безопасности, плавности хода, уменьшения колебаний при высоких скоростях движения и др., поэтому создание тележек локомотивов и вагонов современных экспрессов требует применения высоких технологий.

Для решения динамических задач, прежде всего, необходимо тщательное исследование динамических свойств разрабатываемой конструкции, в результате которого определяют с необходимой точностью основные динамические характеристики конструкции, в частности, собственные частоты, собственные формы и коэффициенты демпфирования колебаний.

Определение собственных частот, форм и коэффициентов демпфирования в ряде случаев является более трудным этапом исследования, чем прочностные расчеты, так как в этом случае решаются огромные системы дифференциальных, а не алгебраических уравнений. Например, вагон высокоскоростного поезда в диапазоне до 20 Гц в целом имеет около 30 собственных частот движения как систем твердых тел и около 20 собственных частот колебаний кузова как упругого тела. Даже использование сложных конечно-элементных схем, без дополнительного экспериментального обоснования не дает уверенности в правильности результатов.

В свою очередь, собственные частоты, формы и коэффициенты демпфирования рельсовых экипажей определяются массами, моментами инерции основных элементов и свойствами упругих и демпфирующих элементов. Упругие элементы тележек современных высокоскоростных поездов имеют разнообразную конструкцию: металлические рессоры; пружины и торсионы; пневматические подвески. С точки зрения динамических свойств подвижного состава конструктивное исполнение упругого элемен-

та, способ его установки не имеет значения, важен вид силовой характеристики упругого подвешивания, т.е. зависимость прогиба f от вертикальной нагрузки на упругий элемент P :

$$P = P(f).$$

Производная $c = dP/df$ называется жесткостью рессорного подвешивания. Если жесткость постоянна (т.е. $c = \text{const}$), то считают, что такое подвешивание имеет линейную характеристику, если жесткость зависит от прогиба, то упругая характеристика нелинейная.

Для рессорного подвешивания с постоянной жесткостью, жесткость обычно определяется как отношение сил тяжести брутто $P_{\text{ст}}$ приходящейся на рессорный комплект, к статическому прогибу рессорного комплекта $f_{\text{ст}}$ от этой силы:

$$c = \frac{P_{\text{ст}}}{f_{\text{ст}}}.$$

Для линейного подвешивания в этом случае имеется связь между собственной частотой колебаний подпрыгивания кузова и статическим прогибом, и существует общая зависимость: чем больше статический прогиб, тем меньше жесткость рессорного подвешивания и собственная частота:

$$\omega^2 = c/M = g/f_{\text{ст}},$$

где g — ускорение свободного падения.

Многочисленные исследования показывают, что уменьшение жесткости рессорного подвешивания при прочих равных условиях благоприятно сказывается на плавности хода рельсовых экипажей. Поэтому существующие тенденции в развитии конструкций рессорного подвешивания, направленные на улучшение плавности хода, в первую очередь характеризуются снижением жесткости рессорного подвешивания и соответствующим увеличением статического прогиба $f_{\text{ст}}$.

Наилучшая плавность хода получилась бы при жесткости рессор, близкой к нулю. Однако, если учесть возможность сцепления порожнего и груженого вагона, обес-

печение ограничений по валкости кузова на рессорах и особенности восприятия человеком вибраций различного частотного состава и укачивание («морская болезнь») считается оптимальной частота колебаний подпрыгивания кузова 0,9—1,2 Гц.

Реализовать прогибы более 200 мм трудно, поэтому в современных конструкциях используют нелинейные упругие элементы, которые обеспечивают рациональную величину жесткости только в диапазоне реальной фактической загрузки. В этом случае вводится понятие эквивалентная (приведенная) жесткость $C_э$, и эквивалентный статический прогиб $f_{стэ}$, которые определяются следующим образом:

$$C_э = \left. \frac{dP}{df} \right|_{\text{при } P=P_{ст}}; \quad f_{стэ} = \frac{P_{ст}}{C_э}.$$

Очевидно, что в этом случае реальный прогиб не будет иметь ничего общего с эквивалентным. На рис. 13.36 приведены силовые характеристики трех типов: линейная, жесткая и мягкая, примерно с одной эквивалентной жесткостью при нагрузке — массе вагона брутто.

Существует рекомендация, предлагающая устанавливать численную величину статического прогиба рессорного подвешива-

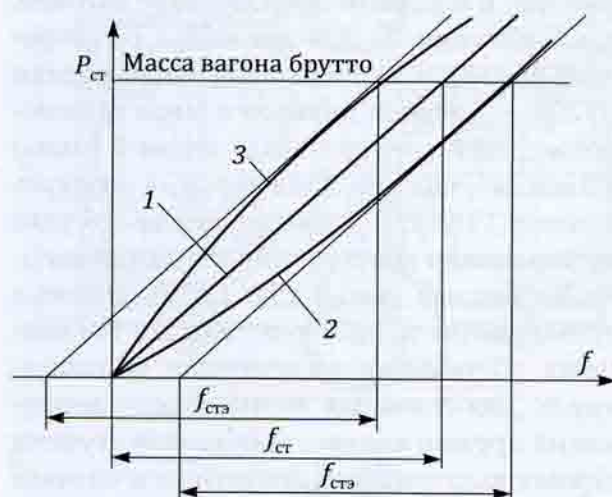


Рис. 13.36. Связь между статическим прогибом $f_{стэ}$ нагрузкой $P_{ст}$ и эквивалентным прогибом $f_{ст}$ для рессор с различными видами силовых характеристик: 1 — линейной; 2 — жесткой; 3 — мягкой

ния вагона высокоскоростного поезда, в мм, равной конструкционной скорости, в км/ч. Так для поезда с конструкционной скоростью 200 км/ч, необходим статический прогиб подвешивания 200 мм, а для поезда с конструкционной скоростью 300 км/ч — 300 мм.

Демпфирование колебаний современных рельсовых экипажей, в том числе высокоскоростных в основном осуществляется за счет сил трения. При этом следует различать несколько видов трения.

1. Вязкое трение, которое зависит от скорости относительных перемещений подрессоренных и непрессоренных масс. В подвижном составе такое трение создается специальными устройствами — гидравлическими гасителями колебаний. В пневматическом рессорном подвешивании аналогичные по закону изменения силы трения возникают при перетекании воздуха в дополнительный резервуар через дроссельный проход.

2. Сухое трение, которое зависит в основном от направления движения (знака скорости). Такое трение возникает между листами рессор, в шарнирах, челюстных направляющих, пятниках или специальных устройствах — фрикционных гасителях колебаний.

3. Внутреннее трение, которое пропорционально относительному перемещению и сдвинуто по фазе относительно перемещения на величину $\pi/2$. Такое трение возникает в упругих резиновых элементах и любых других конструкционных материалах. В этом случае демпфирующие свойства конструкционных материалов не зависят от частоты колебаний — влияние внутреннего трения существенно при использовании в рессорном подвешивании больших объемов резины или при высокочастотных вибрациях кузова.

Четкую границу между действием различных видов трения в рельсовых экипажах провести трудно, так как они действуют одновременно. Задача выбора оптимального демпфирования является более сложной, чем выбор жесткости. Большое демпфирование уменьшает амплитуды колебаний при

резонансах, однако, существенно увеличивает ускорение кузова, как при прохождении единичных неровностей, так и в зарезонансной области. Коэффициент относительного демпфирования i -той формы колебаний железнодорожного экипажа вычисляется по формуле

$$\xi_i = \frac{1}{2\omega_i} \frac{\{v_i\}^T [C] \{v_i\}}{\{v_i\}^T [M] \{v_i\}},$$

где $[C]$ и $[M]$ — соответственно матрицы демпфирования и инерции динамической модели экипажа, в которой кузов и обрессоренные массы тележек представляют собой твердые тела, соединенные между собой упругими и диссипативными связями; $\{v_i\}$ — вектор-столбец, характеризующий i -ую форму колебаний; ω_i — собственная частота i -той формы колебаний.

Коэффициенты относительного демпфирования определенной формы колебаний определяют величину демпфирования по отношению к собственной частоте данной формы, что имеет физический смысл отношения к критическому демпфированию, при котором прекращаются колебания.

Для демпфирования колебаний вагонов рекомендуется коэффициенты относительного демпфирования иметь в пределах:

- для вертикальных колебаний — 0,2...0,3;
- для горизонтальных колебаний — 0,3...0,4;
- для боковой качки — 0,1...0,2.

Для получения таких коэффициентов демпфирования в ходовых частях современного высокоскоростного подвижного состава применяют гидравлические гасители колебаний и устройства с резиновыми или полиуретановыми амортизирующими элементами. В некоторых случаях ставят гасители колебаний с регулируемой силой сопротивления, что позволяет обеспечивать хорошие ходовые качества независимо от состояния пути.

Устройство тележки. Необходимые упруго-демпфирующие характеристики подвешивания реализуются в конструктивных схемах рессорного подвешивания тележек, которое в пассажирских вагонах, как правило, включает две ступени — буксовую и центральную. Буксовая ступень является

первичной, служит для поддрессирования вагона, в ней реализуется передача усилий от колесной пары на раму тележки. Эта ступень играет доминирующую роль в обеспечении устойчивости движения при высоких скоростях на прямых участках пути и обеспечении вписывания в кривые.

Для реализации высоких скоростей движения необходима увеличенная горизонтальная продольная жесткость и несколько уменьшенная (примерно в 2 раза) поперечная жесткость буксовой ступени рессорного подвешивания. В кривых участках пути с увеличением жесткости происходит усиление воздействия гребней колес на головку рельса, что ухудшает динамические качества вагона. Одним из подходов в решении данной проблемы является создание такой конструкции буксовой ступени, в которой можно реализовать разные продольную и поперечную жесткости и удовлетворить требования по обеспечению безопасного движения с высокими скоростями как в прямых, так и в кривых участках пути.

Для решения этой задачи используются два основных компромиссных варианта: применение поводков и резинометаллических элементов.

Исторически первой конструкцией, удовлетворявшей указанным требованиям и освоенной в массовом производстве вагонов, предназначенных для движения со скоростью более 200 км/ч, была тележка модели DT200 — вагонов первого в мире высокоскоростного электропоезда серии 0 (ноль) в Японии¹, эксплуатация которых началась в конце 1964 г. В качестве буксового узла использована конструкция с пластинчатыми поводками (рис. 13.37, 13.38), впервые примененная в 1950 г. в тележке Minden-Dentz (Германия), получившая обозначение IS. Для снижения вертикальных деформаций пружин жесткость буксовой ступени делают высокой. Это допустимо в случаях применения в центральной ступени пнев-

¹ Весной 1962 г. были построены два опытных поезда — 2-вагонный и 4-вагонный, успешно выдержавшие испытания; в феврале 1964 г. выпущен предсерийный 6-вагонный поезд, в июле началась обкатка первого 12-вагонного серийного поезда.

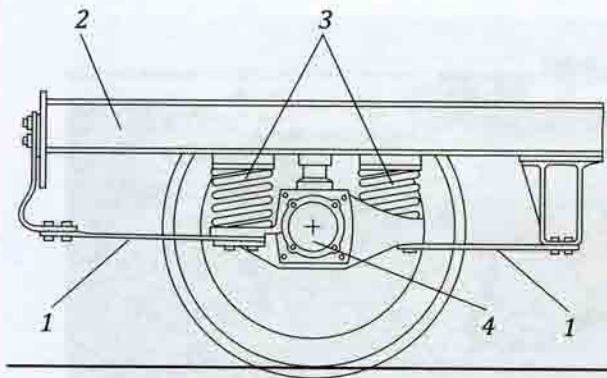


Рис. 13.37. Конструкция буксового узла подвешивания типа IS тележки DT200 вагонов высокоскоростного поезда серии 0 (ноль). Япония. 1963 г.: 1 — поводки в виде пластин (плоских стальных пружин); 2 — рама тележки; 3 — пружины буксового подвешивания; 4 — букса

моподвешивания, как это и было сделано в тележке DT200. При вертикальной деформации пружин поводки в результате собственного изгиба дают возможность поступательного перемещения буксы. Пластины-поводки жестко крепятся к раме тележки и буксе и упруго деформируются при вертикальных колебаниях. При этом в горизонтальной плоскости жесткость пластины

значительно больше, что обеспечивает передачу через нее горизонтальных усилий. Такая конструкция обеспечивает различные жесткости в продольном и поперечном направлении.

Конструкция моторной тележки типа DT200 (в поезде серии 0 все вагоны были моторными) демонстрирует важный подход японских проектировщиков к созданию качественно нового продукта, в данном случае, тележки для пассажирских вагонов, рассчитанных на эксплуатацию со скоростью 210 км/ч. Тележки были сформированы из хорошо известных элементов, эксплуатационные достоинства которых были подтверждены практикой. Позже японские вагоностроители продолжили использование в конструкциях тележек буксового узла с пластинчатыми поводками (рис. 13.39).

Шарнирно-поводковый механизм с резинометаллическими шарнирами (сайлент-блоками) впервые применила фирма Alsthom (Франция) в тележке Y-32 для пассажирских вагонов (рис. 13.40). Это позволило избавиться от поверхностного трения и связанных с ним износов. Пример такого

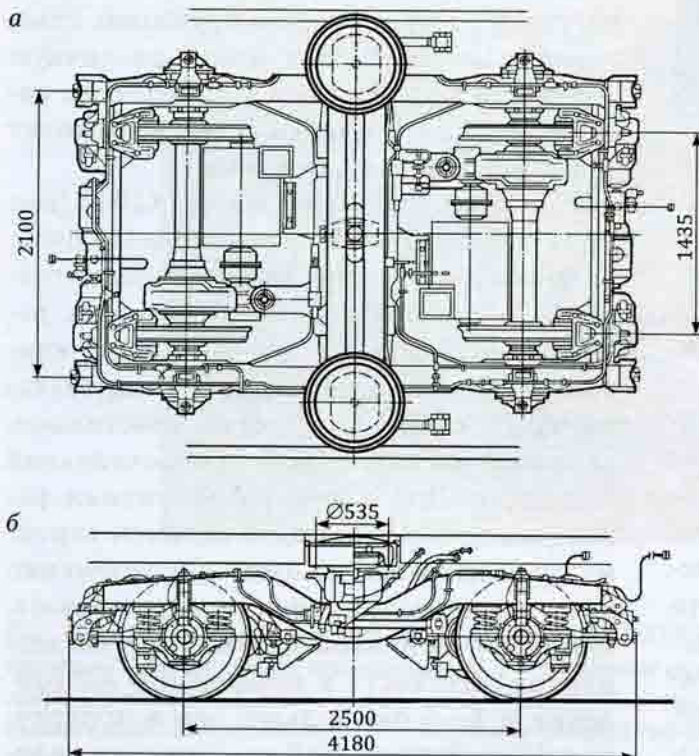
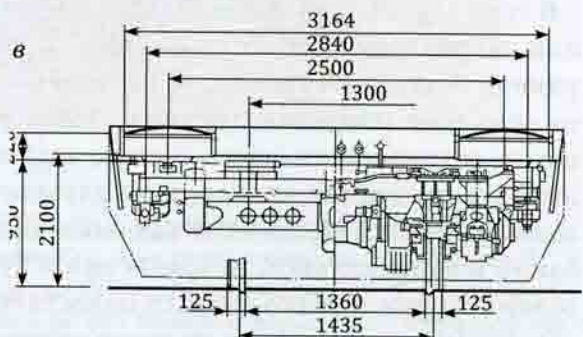


Рис. 13.38. Тележка типа DT200: а — вид сверху; б — вид сбоку; в — вдоль пути. Япония. 1963 г.



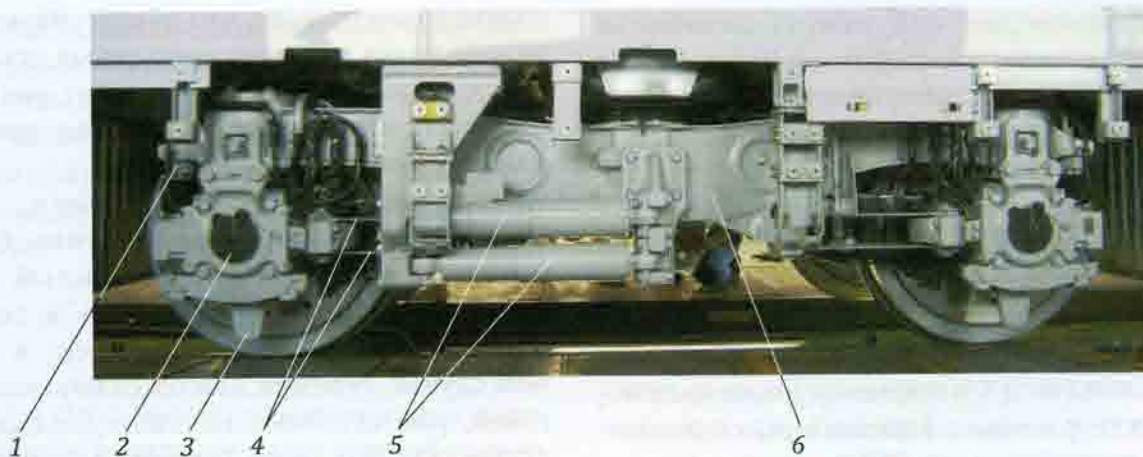


Рис. 13.39. Тележка высокоскоростного поезда серии Е6 (Япония, 2012 г.): 1 — гидравлический гаситель колебаний первичной ступени подвешивания; 2 — букса; 3 — предохранительный ограничительный угольник системы противодействия выходу за пределы рельсовой колеи при сходе с рельсов; 4 — поводки в виде пластин (плоских стальных пружин); 5 — гасители колебаний виляния (один из них отключается при движении по линии Мини-Синкансэн для уменьшения динамического воздействия подвижного состава на путь); 6 — рама тележки (см. п. 17.5, рис. 17.28)

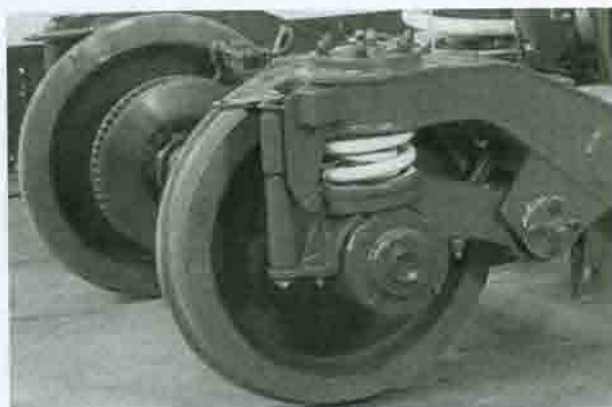


Рис. 13.40. Фрагмент тележки Y32 пассажирского вагона. Франция. 80-е годы XX века

решения — буксовая ступень поддерживающих тележек Y-237 для вагонов высокоскоростных поездов TGV A, AVE и ее модификации.

В этом случае полностью разделены функции направления (тяги с шаровыми шарнирами в буксовой ступени) и вертикального опирания (стальная пружина). Такое решение сохраняет хорошее качество хода тележки и позволяет значительно улучшить характеристики механизма гашения колебаний в вертикальном направлении в буксовой ступени. Однако имеется недостаток, связанный с коаксиальным скручиванием

сайлент-блоков, что особенно нежелательно на моторных тележках.

В буксовой ступени моторных тележек поездов TGV (и AVE серия 100), например, использованы пружинные комплекты цилиндрические направляющие и резино-металлические амортизаторы (рис. 13.41, 13.42, 13.43). Основная часть вертикальной нагрузки воспринимается пружиной. Резино-металлический блок имеет различную жесткость в продольном и поперечном направлениях, а также частично выполняет функции гасителя колебаний.

В тележках шведского поезда X2000 (рис. 13.44) буксовое подвешивание выполнено на шевронных резино-металлических ресорах, обеспечивающих возможность радиальной установки колесных пар в кривых. Пакеты резины, соединенные вулканизацией с металлическими пластинами, установлены наклонно к горизонтальной плоскости. При таком расположении резиновая прокладка под действием вертикальной нагрузки на буксу одновременно испытывает напряжения сжатия и сдвига. Благодаря принятой форме упругих элементов, жесткость в продольном направлении в 3—6 раз больше, чем в поперечном. Недостатком этой конструкции явля-

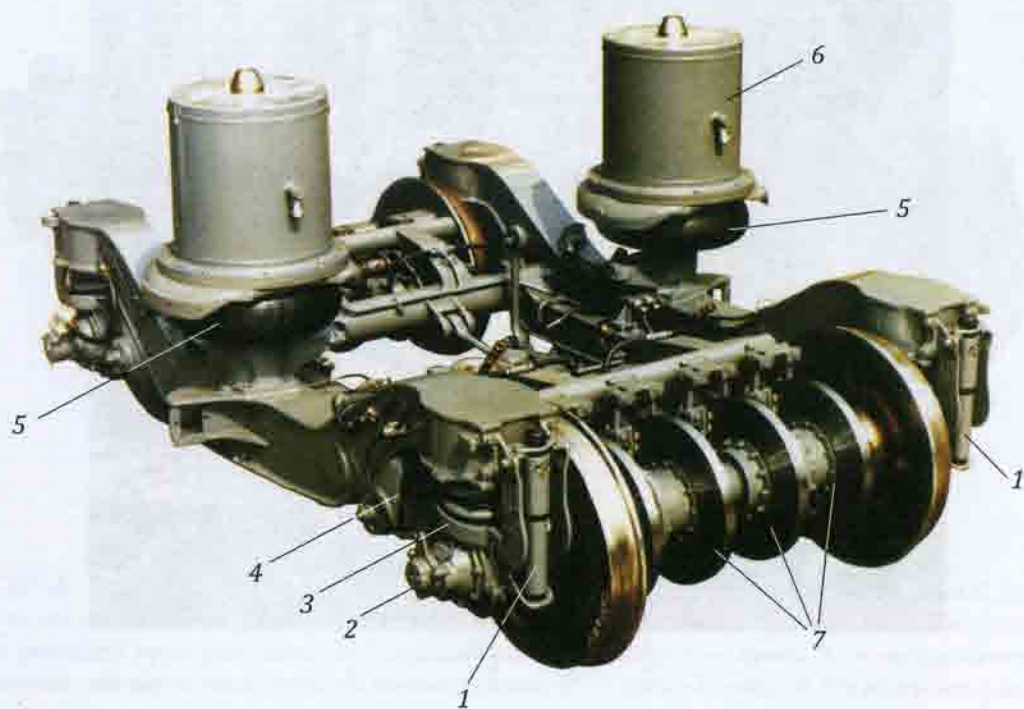


Рис. 13.41. Поддерживающая промежуточная тележка модели Y-237 поезда TGV A и AVE (Франция — Испания): 1 — гидравлический гаситель колебаний буксового подвешивания; 2 — букса; 3 — пружина буксового подвешивания; 4 — рычаг с резинометаллическим шарниром; 5 — пневморессора центрального подвешивания; 6 — дополнительный резервуар; 7 — тормозные диски

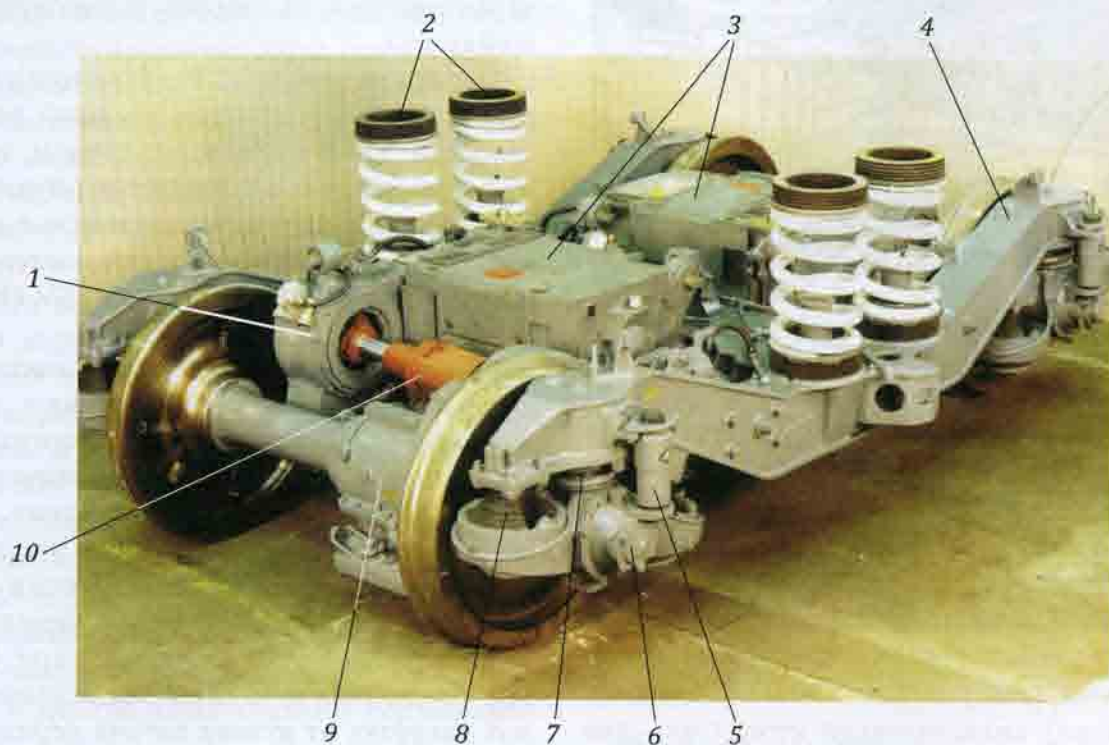


Рис. 13.42. Моторная тележка электровоза поезда AVE (TGV A): 1 — редуктор первой ступени; 2 — пружины центрального подвешивания; 3 — тяговые двигатели; 4 — рама тележки; 5 — буксовый гидравлический гаситель колебаний; 6 — букса; 7 — пружина буксового подвешивания; 8 — резинометаллический амортизатор; 9 — редуктор второй ступени на оси колесной пары; 10 — шлицевой вал шарнира равных угловых скоростей тяговой передачи

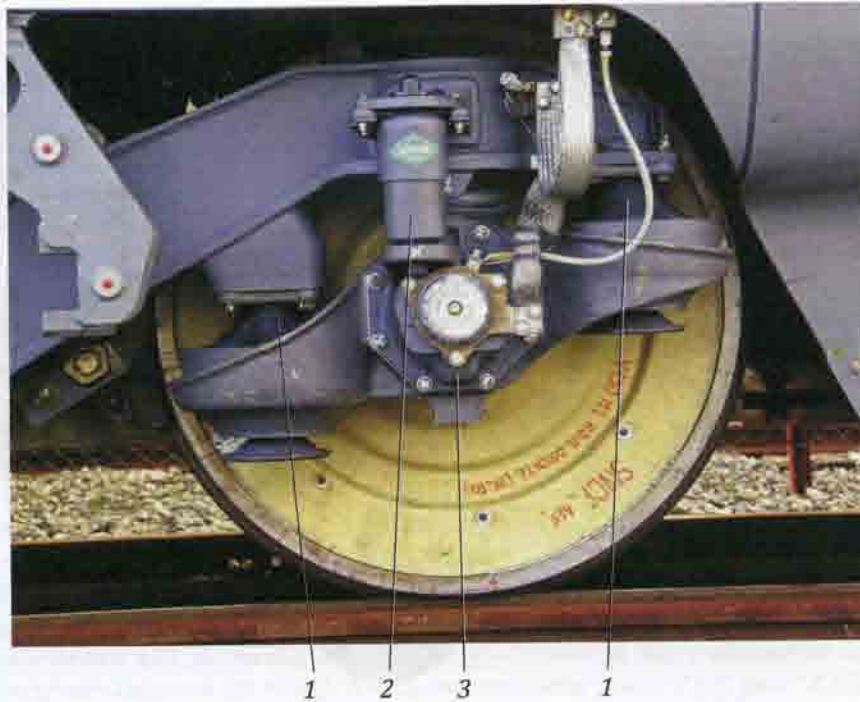


Рис. 13.43. Первичное подвешивание моторной тележки электровоза TGV POS (Франция): 1 — резино-металлический амортизатор; 2 — буксовый гидравлический гаситель колебаний; 3 — букса

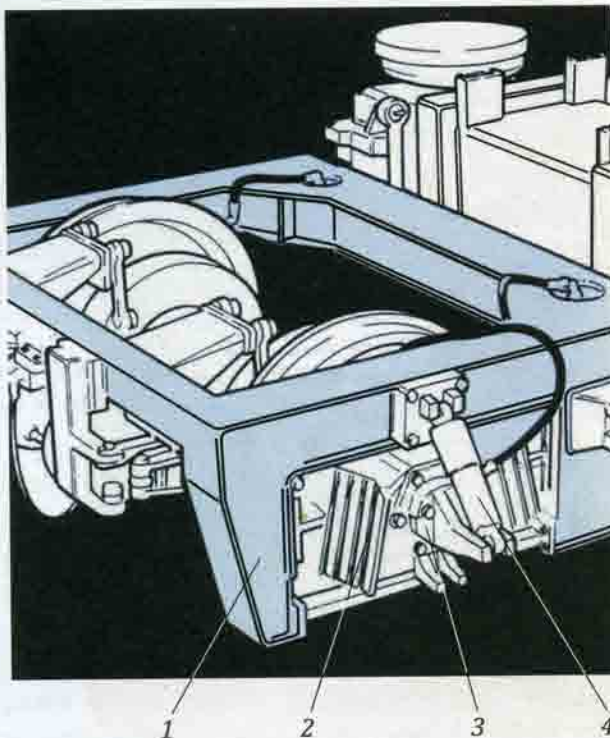


Рис. 13.44. Фрагмент тележки вагона высокоскоростного поезда X 2000 (Швеция, 1989 г.): 1 — рама тележки; 2 — шевронные резино-металлические рессоры первичной ступени подвешивания; 3 — букса; 4 — гидравлический гаситель колебаний первичной ступени подвешивания

ется зависимость упругих и механических характеристик от температуры окружающей среды.

В опытном поезде V150 (Франция), который в 2007 г. установил мировой рекорд скорости 574,8 км/ч, в первичном подвешивании тележек двухэтажных вагонов использовались резино-металлические амортизаторы с цилиндрическими направляющими, применяемые на поезде TGV 2N NGV Duplex.

Центральное подвешивание пассажирского вагона должно обеспечивать необходимую плавность хода и комфортные условия проезда пассажиров. Традиционным типом центрального подвешивания, применяющегося более 100 лет в пассажирских вагонах, является конструкция в виде люльки. В этом случае обеспечивается возвращающее усилие люльки при боковых смещениях кузова вагона. В таких схемах нагрузка от кузова вагона передается через пятник на надрессорную балку. Такая конструкция, являющаяся относительно дешевой в изготовлении, с различными усовершенствованиями применяется и на высокоскоростном подвижном составе.

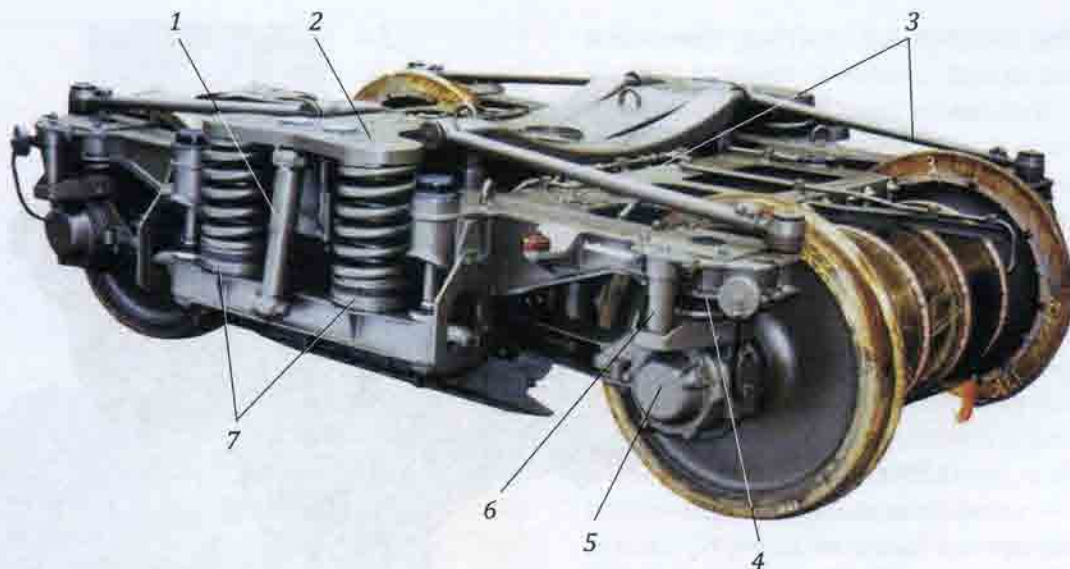


Рис. 13.45. Поддерживающая тележка вагона поезда ICE1 (Германия): 1 — гидравлический гаситель колебаний вторичной ступени подвешивания; 2 — наддрессорная балка; 3 — реактивные штанги; 4 — цилиндрическая пружина первичной ступени подвешивания; 5 — букса; 6 — гидравлический гаситель колебаний первичной ступени подвешивания; 7 — цилиндрические пружины вторичной ступени подвешивания

Примером может служить тележка прицепного вагона поезда ICE1 (Германия). Система (рис. 13.45) хорошо себя зарекомендовала в эксплуатации, но обладает рядом существенных недостатков, в частности, в ней имеются трущиеся пары, что уменьшает межремонтные сроки и ухудшает ходовые качества подвижного состава при высоких скоростях.

Безлюлечная конструкция имеет меньше деталей в центральном подвешивании, что устраняет сложности, связанные с ремонтом. Эта система базируется на использовании упругих свойств элементов подвешивания в вертикальном и горизонтальном направлениях. Детали могут быть выполнены в виде удлиненных пружин типа «Flexicoil»¹, которые применяются, например, в тележках локомотивов и вагонов итальянских высокоскоростных поездов (рис. 13.46).

Практически во всех последних конструкциях высокоскоростного подвижного состава в центральной ступени подвешива-

ния используются пневматические рессоры. Они представляют собой резиновые баллоны, армированные кордом (конструкция похожая на автомобильную шину), иногда частично заключенные в металлический кожух (рис. 13.47). Баллоны нижней частью установлены на раме тележки, а на их верхнюю часть опирается кузов. На каждой тележке, как правило, имеется два баллона — слева и справа от ее продольной оси симметрии.

Интенсивные исследования и инженерные разработки по созданию воздушных и газовых рессор для пассажирских вагонов начались после Второй мировой войны в связи с потребностью в увеличении скорости движения поездов. Преимущество пневматической подвески по сравнению с традиционными типами пружинных рессор заключается в том, что они препятствуют передаче высокочастотных колебаний и шума от тележек к кузову. Важным свойством пневморессор является возможность изменяя давление воздуха (газа) регулировать жесткость подвешивания (изменять в широких пределах величину статического прогиба). Это позволяет при разной массе вагона (например, при различной его загрузке) поддерживать неизменной высоту кузова над уровнем головки рельса. В свою

¹ Пружины типа «Flexicoil» для систем подвески автомобилей и железнодорожного подвижного состава были предложены в 30-х годах прошлого века американской компанией General Motors. Особенность пружин — опирание на шарнир, обеспечивающий меньшую жесткость пружины в продольном направлении.

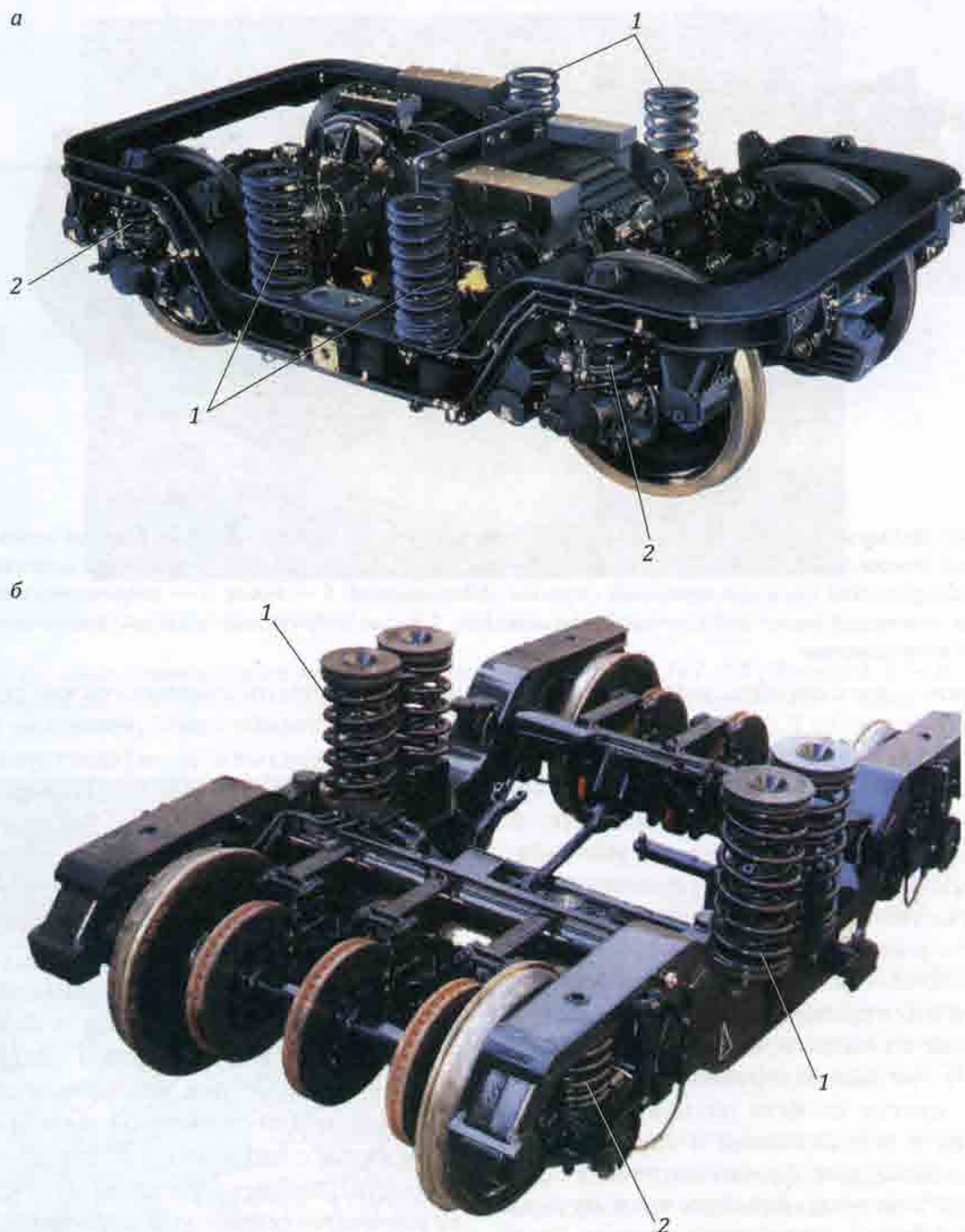


Рис. 13.46. Тележки высокоскоростного поезда ETR 500: а — электровоза; б — прицепного вагона; 1 — пружины центрального подвешивания; 2 — пружины первичного подвешивания. Италия. 1992 г.

очередь это способствует улучшению ходовых качеств подвижного состава и созданию унифицированных тележек для различных типов вагонов.

Одна из первых пригодных для практической эксплуатации конструкций пневматических рессор была разработана в США в конце 1940-х годов для тележки скоростного пассажирского вагона «Pioneer». В СССР на-

чала теоретическим исследованиям в области создания пневморессор положили работы, начавшиеся под руководством А.В. Кузнецова в 50-х годах в Научно-исследовательском институте вагоностроения. В 1964 г. на участке Калинин — Бологое были проведены скоростные испытания вагонов с разработанными в СССР тележками на пневматических рессорах баллонного и диафраг-



Рис. 13.47. Центральное пневматическое подвешивание вагона поезда TGV Т. Франция

менного типов. В 1972 г. на Калининском вагоностроительном заводе была создана тележка ТСК-1 с диафрагменными пневморессорами для скоростного вагона РТ200, а в 1974 г. выпущен скоростной электропоезд ЭР200, вагоны которого имели пневмоподвешивание.

Тележки с центральным пневматическим подвешиванием применяются на эксплуатируемых в настоящее время поездах Х2000, Швеция (см. рис. 13.44); TGV, Франция (см. рис. 13.41; рис. 13.47), поездах линий Синкансэн Япония (рис. 13.48), на вагонах высокоскоростного поезда компании «Bombardier», Канада, 2010 г. (рис. 13.49), «Сименс» и др.

Важно отметить, что подобные устройства подвешивания достаточно сложны в изготовлении, поэтому необходимо иметь технологически подготовленную производственную базу. Однако именно такая конструкция

позволяет достичь наилучших результатов на подвижном составе, предназначенном для высоких скоростей движения.

Во всех вагонах высокоскоростных поездов для обеспечения демпфирующих свойств ходовых частей применяется схема раздельного гашения колебаний в разных ступенях подвешивания, что позволяет создать эффективную схему успокоения и обеспечить надлежащий комфорт для пассажиров. Как правило, в буксовой ступени подвешивания устанавливают вертикальные гасители колебаний; в центральной — вертикальные демпферы — гасители отбоя (горизонтальные поперечные) и горизонтальные гасители виляния (вдоль оси пути).

В 30—40-е годы XX в. в устройствах подвески вагонов вместо фрикционных гасителей колебаний началось использование гидравлических гасителей, успешно зарекомендовавших себя к тому времени в автомобилестроении. Применение гидравлических демпферов позволяет избавить конструкцию от негативного воздействия пар сухого трения и улучшает ее ходовые качества при высоких скоростях движения.

Одними из первых гидравлическими гасителями колебаний были оснащены тележки скоростной автомотрисы «Комета», построенной в 1935 г. в США для железной дороги Нью-Хавен. В конце 40-х годов прошлого века такие элементы систем подвески уже широко использовались на скоростном подвижном составе, в частности, на новых тележках скоростных пассажирских вагонов «Pioneer» (США), Minden-Dentz, 1950 г. (ФРГ), на тележках скоростных дизель-поездов. Принцип действия гидравлических гасителей колебаний заключается в последовательном перемещении вязкой жидкости поршнем через узкие (дроссельные) каналы и всасывании ее обратно через клапан одностороннего действия. При прохождении жидкости через дроссельные каналы возникает вязкое трение, в результате чего механическая энергия колебательного движения вагона превращается в тепловую, которая затем рассеивается.

На рис. 13.50 показана схема устройства гидравлического гасителя колебаний и при-



Рис. 13.48. Моторная тележка вагона поезда серии E1. Япония



Рис. 13.49. Пневматическое подвешивание тележки вагона высокоскоростного поезда компании «Bombardier», 2008

мер его конструктивного исполнения. При движении поршня 6 вниз (сжатие) верхний клапан 7 приподнимается, и жидкость из полости под поршнем перетекает в полость, расположенную над ним. Вследствие движения штока 1 давление в полости рабочего цилиндра 4 повышается, и часть жидкости с большим гидравлическим сопротивлением перетекает че-

рез дроссельные отверстия нижнего клапана 8 в резервуар 5. При движении поршня 6 вверх (растяжение) верхний клапан 7 закрывается, давление жидкости в пространстве над поршнем 6 повышается, и жидкость с большим гидравлическим сопротивлением перетекает через дроссельные каналы верхнего клапана 7 в полость под поршнем. Одновременно в этой полос-

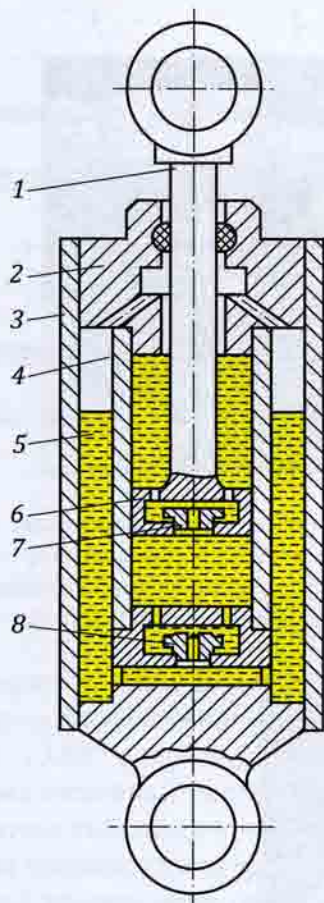


Рис. 13.50. Устройство гидравлического гасителя колебаний: 1 — шток; 2 — направляющая втулка; 3 — цилиндр; 4 — рабочий цилиндр; 5 — резервуар; 6 — поршень; 7 — верхний клапан; 8 — нижний клапан

ти наступает разряжение, так как объем перетекающей в нее из полости над поршнем жидкости меньше объема самой полости. Вследствие этого нижний клапан 8 поднимается и часть жидкости засасывается в зону под поршнем из резервуара 5, заполняя освобожденное штоком 1 пространство. Резервуар 5 гасителя колебаний служит не только емкостью для жидкости, вытесняемой штоком 1 из цилиндра 3, но и сборником жидкости, просачивающейся через кольцевой зазор между направляющей втулкой 2 и штоком 1. Рабочей жидкостью для гидравлических гасителей колебаний вагонных тележек служат масла: веретенное, приборное и трансформаторное, а также другие специальные жидкости. Размещение гидравлических гасителей колебаний на современных железнодорожных тележках видно на фото выставочного

стенда и на тележке вагона высокоскоростного поезда (рис. 13.51).

Необходимо отметить, что проход экипажем кривых участков пути ведет к увеличению механических напряжений в ходовых частях. Эффективным средством снижения износов колес и рельсов является установка колесных пар в кривых по радиусу («радиальная» установка) (рис. 13.52). Примером такой конструкции является устройство тележек вагонов высокоскоростных поездов серии Х2000 (Швеция), в которых в буксовых узлах установлены упругие элементы, обеспечивающие незначительное пассивное отклонение осей колесных пар.

Разработаны и другие конструкции тележек с колесными парами, устанавливаемыми по радиусу кривых. Эти системы эффективны на магистралях, где имеется много кривых. Пока такие системы не получили широкого распространения в силу более высокой цены и увеличения затрат на эксплуатацию, по сравнению с обычными.

Особым типом подвешивания является маятниковая подвеска. Она нашла применение на подвижном составе, который эксплуатируется на железных дорогах с множеством кривых участков пути. Благодаря размещению опорных поверхностей выше центра массы кузова, при движении в кривой происходит больший крен кузова, чем при других типах подвешивания, с отклонением верхней части кузова внутрь кривой (см. п. 13.5).

В последнее десятилетие в ряде стран в работе по улучшению ходовых свойств подвижного состава и повышения комфорта проезда пассажиров были достигнуты ощутимые результаты в создании так называемых «активных систем» подавления колебаний кузова вагона. По степени сложности их разделяют на так называемые «полностью активные системы управления» и «полуактивные системы управления»¹. Исследования и разработки в этой области велись в ряде стран, впервые в коммерческой эксплуатации активные и полуактивные устройства подавления вибрации были введены в 2000 г. на высокоскоростном

¹ От англ.: full active control system & semi-active control system.

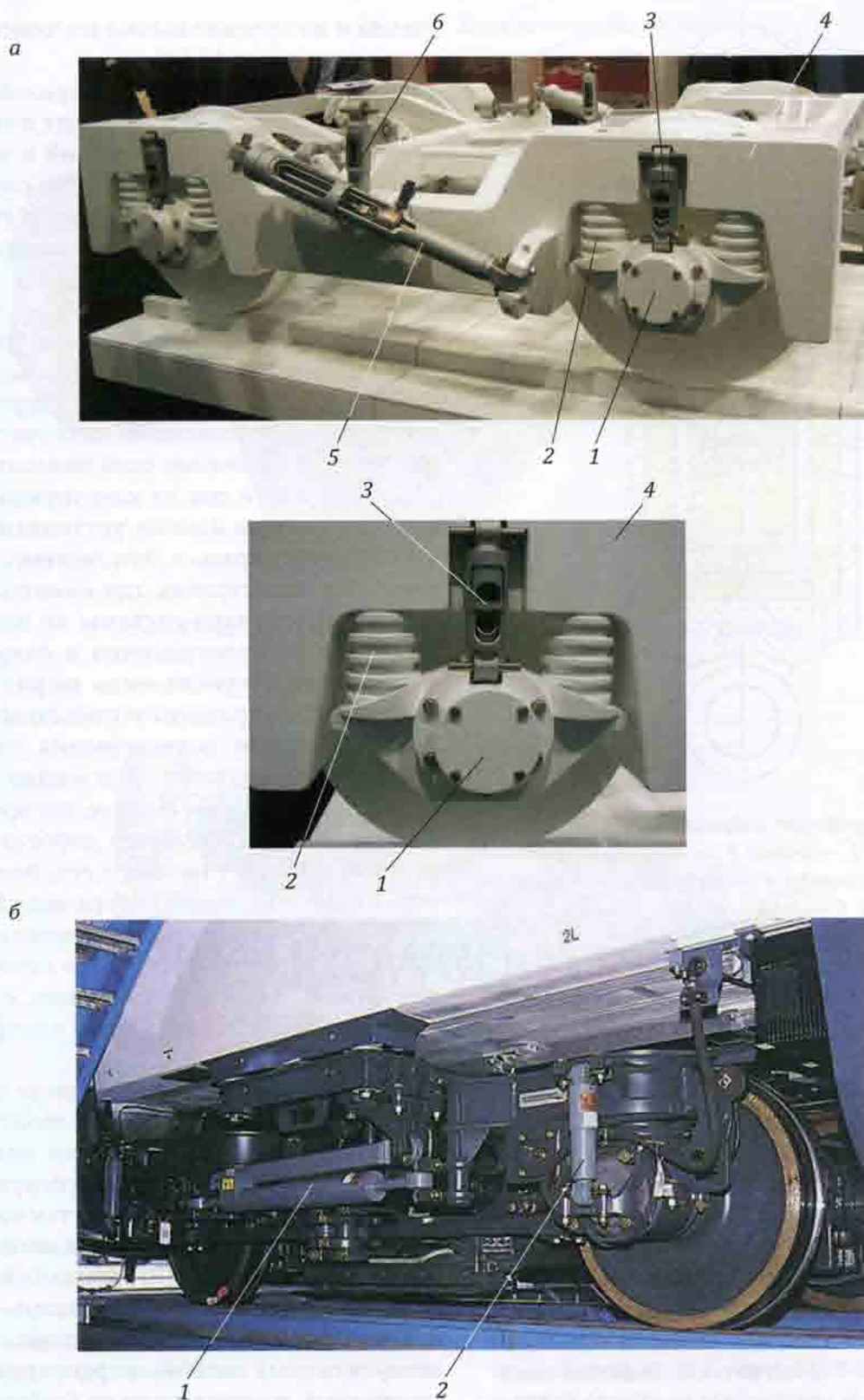


Рис. 13.51. Гидравлические гасители колебаний в первичном и вторичном подвешивании, гасители виляния (на фото показаны с демонстрационными разрезами): а — выставочный макет; 1 — буksа; 2 — пружина первичной ступени подвешивания; 3 — гидравлический гаситель колебаний первичной ступени подвешивания; 4 — рама тележки; 5 — гидравлический гаситель колебаний виляния; б — гидравлический гаситель колебаний центральной ступени подвешивания; б — тележка вагона высокоскоростного поезда; 1 — гаситель колебаний виляния; 2 — вертикальный гаситель колебаний первичной ступени подвешивания

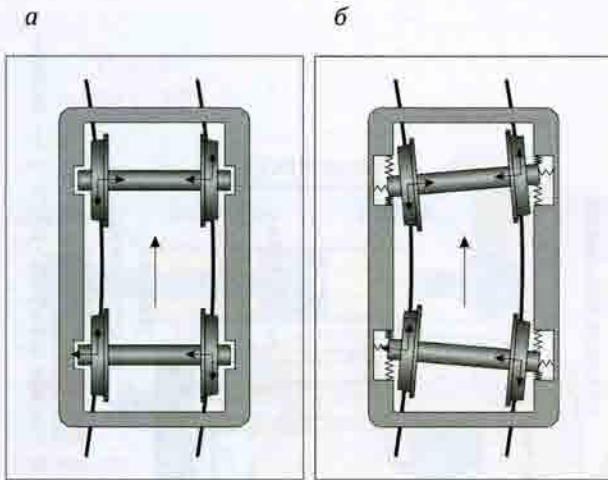


Рис. 13.52. Схемы тележек: а — «обычная» установка; б — «радиальная» с колесными парами, устанавливающимися по радиусу кривой (тележка вагона поезда Х2000)

поезде серии Е2-1000 Восточной японской железнодорожной компании.

На рис. 13.53, а приведена упрощенная блок-схема активной системы управления подавлением вибрации кузова вагона. Суть ее работы сводится к следующему. Установленный на уровне пола пассажирского салона датчик поперечных вибраций кузова передает в контроллер системы данные о величине и частоте возникающих вибраций. Контроллер анализирует поступающую информацию и вырабатывает управляющие команды для привода (его иногда называют активатором) подавления колебаний, уставленного в узле связи между кузовом и тележкой. Сжатый воздух, направляемый в левую или правую полость цилиндра привода, вызывает движения поршня, совпадающего по частоте с частотой возмущающих вибраций, по направлению — противоположных усилиям вибраций, а по величине — соответствующих величине импульсов колебаний. Таким образом, происходит активное подавление поперечной вибрации кузова вагона.

На большинстве выпускаемых в настоящее время в Японии высокоскоростных поездов в головных вагонах, испытывающих наибольшие колебания кузова, установлена активная система подавления вибрации. Принципиально их конструкции не отличаются от описанной выше, однако вмес-

то пневматического привода используется гидравлический, что способствует повышению эффективности системы. На промежуточных вагонах установлены относительно меньшие по стоимости полуактивные системы подавления вибрации (рис. 13.53, б).

В этой системе также имеется датчик поперечных колебаний кузова вагона. Данные о величине и частоте вибраций поступают в контроллер, где происходит их обработка. В результате контроллер выдает управляющую команду на гидравлический гаситель колебаний, установленный в узле связи тележки и кузова вагона. Используемый гаситель колебаний имеет устройство изменения жесткости, величина которой задается контроллером исходя из реальной ситуации колебаний кузова вагона. Принцип действия гасителя колебаний переменной жесткости показан на схеме (рис. 13.54).

На рисунке показано, что левая и правая полости цилиндра гидравлического гасителя колебаний соединены между собой трубками с калиброванными отверстиями (жиклерами), величина которых определяет объем масла, переходящего из одной полости в другую в единицу времени (скорость движения поршня), следовательно, изменяется жесткость гасителя колебаний. В гасителе колебаний поезда серии 700 (введен в эксплуатацию в 1999 г.) управление жесткостью осуществляется открытием и закрытием с помощью контроллера электромагнитных клапанов. В поезде следующей серии — N700 (эксплуатируется с 2007 г.) в схему введен дополнительно пропорциональный электромагнитный перепускной клапан, а также еще один клапан — в соединительной трубке между ближним и дальним концами правой полости цилиндра. Управление пропорциональным и дополнительным клапаном с помощью контроллера позволило осуществлять более точную настройку жесткости гидравлического гасителя колебаний по условиям движения и более эффективно снижать колебания кузова вагона (рис. 13.55).

Уменьшению вибраций вагонов, снижению поперечных колебаний способствует

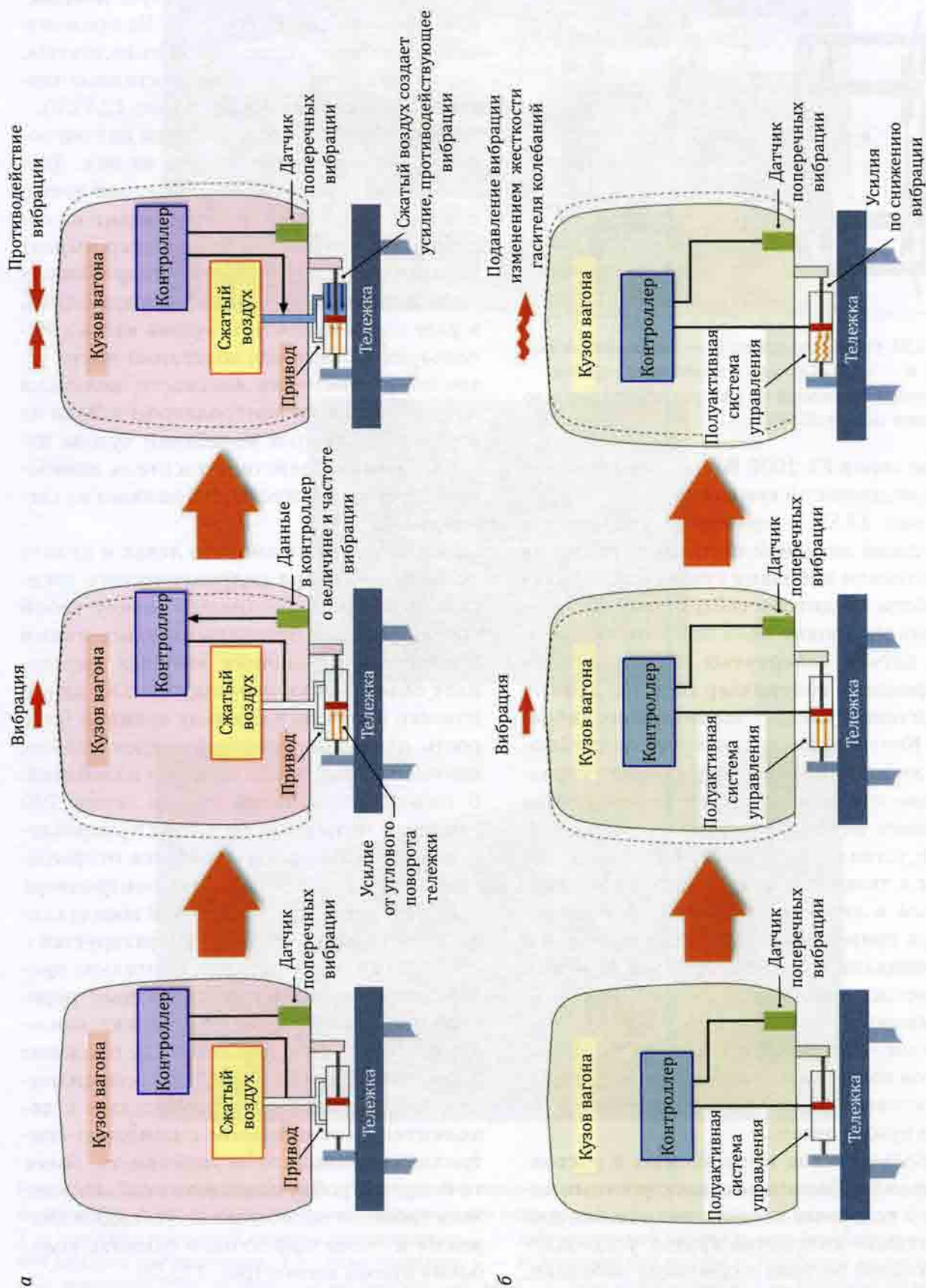


Рис. 13.53. Упрощенная блок-схема системы управления подавлением вибрации кузова вагона высокоскоростного поезда серии E2-1000: а — активной системы; б — полуактивной системы

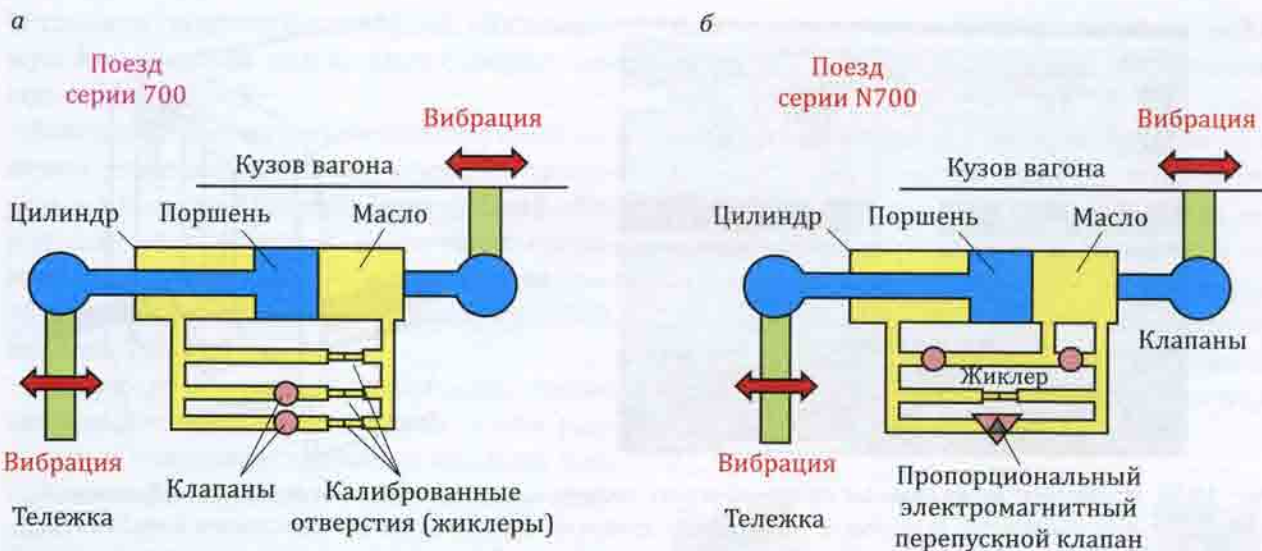


Рис. 13.54. Схематическое изображение гидравлического гасителя колебаний переменного сопротивления, используемого в полуактивной системе подавления колебаний кузова вагонов японских высокоскоростных поездов: а — серии 700; б — серии N700



Рис. 13.55. Система подавления колебаний вагона высокоскоростного японского поезда серии N700: а — контроллер управления; б — гидравлический гаситель колебаний переменного сопротивления с блоком коммутации; в — размещение на тележке

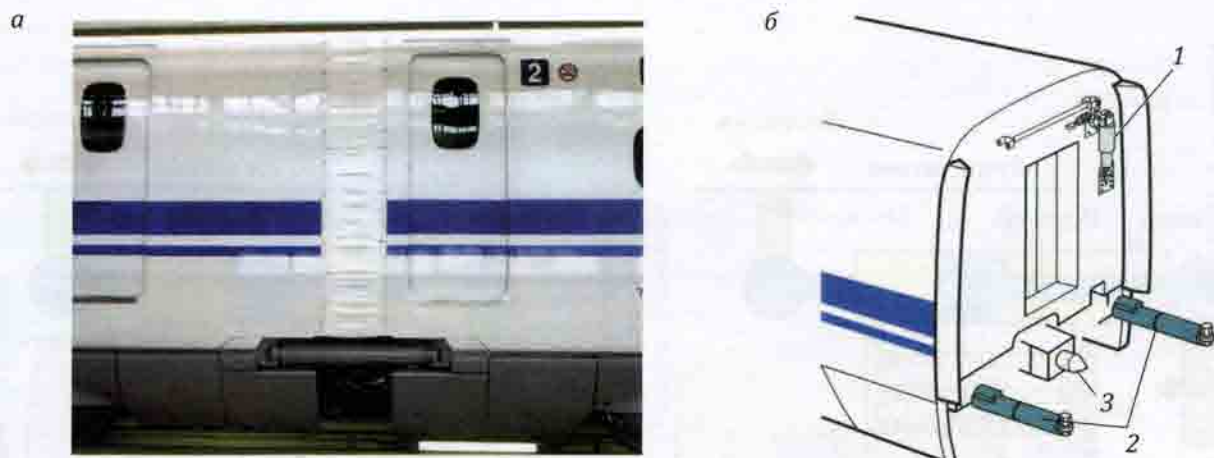


Рис. 13.56. Установка межкузовых гидравлических гасителей колебаний: а — внешний вид гасителя продольных колебаний, установленного между кузовами вагонов высокоскоростного поезда серии N700. Япония; б — расположение гасителей на кузове вагона; 1 — гасители вертикальных колебаний; 2 — гасители продольных колебаний; 3 — жесткое междвагонное сцепное устройство

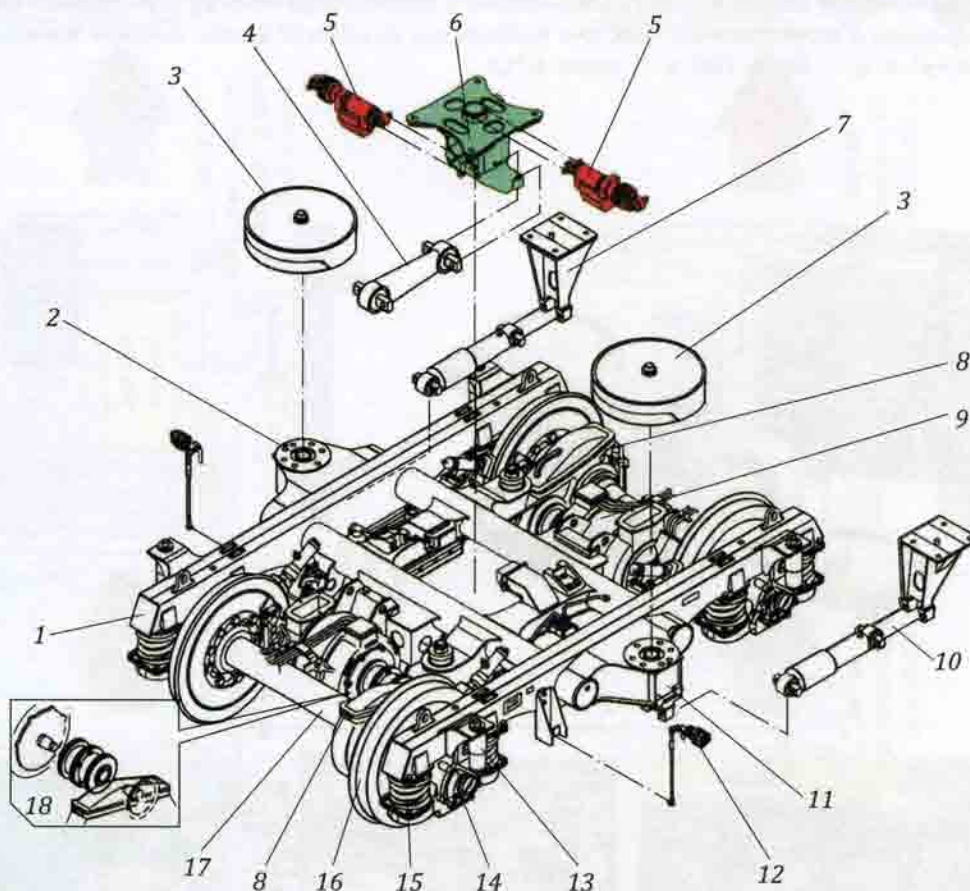


Рис. 13.57. Тележка высокоскоростного поезда серии N700. (Япония, 2007 г.); основные детали и узлы: 1 — рама; 2 — опора пневматической рессоры центрального подвешивания; 3 — пневматическая рессора центрального подвешивания и механизма наклона кузова; 4 — тяга; 5 — активатор системы подавления вибрации кузова; 6 — опора кузова; 7 — кронштейн крепления к кузову гидравлического гасителя колебаний виляния (кронштейн крепится к кузову вагона); 8 — редуктор тягового привода; 9 — тяговый двигатель; 10 — гидравлический гаситель колебаний виляния; 11 — кронштейн опоры центрального подвешивания; 12 — высоторегулирующий клапан пневматической рессоры центрального подвешивания с поводком; 13 — гидравлический гаситель колебаний первичной ступени подвешивания; 14 — буksа; 15 — пружина первичной ступени подвешивания; 16 — колесная пара; 17 — ось колесной пары; 18 — муфта

установка гасителей колебаний, связывающих между собой кузова двух соседних вагонов (рис. 13.56).

Завершая рассмотрение конструкций тележек высокоскоростных поездов приведем в качестве примера упрощенный сборочный чертеж одной из лучших современных конструкций — моторную тележку высокоскоростного поезда серии N700, Япония, 2007 г. (рис. 13.57).

Подводя итог можно выделить следующие основные направления в техническом развитии и совершенствовании ходовых частей высокоскоростного подвижного состава:

- в буксовой ступени подвешивания применяются упругие элементы, реализующие отдельно продольную и поперечную жесткость с характеристиками, удовлетворяющими как требуемой устойчивости движения в прямых участках пути, так и вписыванию в кривые с высокими скоростями;

- использование безюлечной конструкции центральной ступени подвешивания, обеспечивающей высокие показатели комфортабельного проезда пассажиров со скоростями 250—350 км/ч;

- на скоростном подвижном составе для эксплуатации на участках с множеством кривых вводятся устройства радиальной установки колесных пар и технических средств, обеспечивающих дополнительный наклон кузова вагона внутрь кривой;

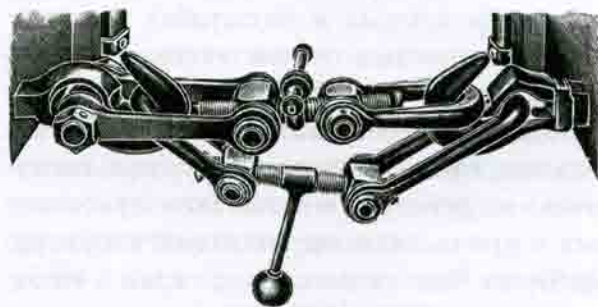
- во всех конструкциях тележек локомотивов и вагонов высокоскоростных поездов применяются только гидравлические гасители колебаний.

13.4. Сцепные устройства высокоскоростного подвижного состава

Важную роль в обеспечении надежной и безопасной эксплуатации железнодорожного подвижного состава играют сцепные приборы, с помощью которых вагоны и локомотивы соединяются в поезд и действуют как единая пространственная система,

включающая несколько подсистем: механическую, пневматическую, энергетическую, информационную, а в случае электрической тяги — электромеханическую и подсистему электроснабжения. На обычных (не высокоскоростных) железных дорогах многих стран мира, в том числе и европейских, как в грузовом, так и в пассажирском движении, продолжают применять сцепные приборы с винтовой стяжкой (рис. 13.58). При ее использовании на под-

а



б



Рис. 13.58. Сцепные приборы с винтовой стяжкой: а — общий вид; б — сцепщик вагонов за работой

вижном составе обязательна установка буферов — пружинных амортизаторов, смягчающих удары вагонов и локомотивов: при сближении происходит сжатие пружины буферных устройств. После этого на крюки вручную накидывают стальные петли и вращением винта сближают тарелки буферов соседних вагонов так, чтобы они постоянно соприкасались. Использование винтовой стяжки требует при осуществлении сцепки и расцепки вагонов и локомотивов тяжелого и опасного физического труда составителей поездов (сцепщиков¹). Однако для внедрения единых в масштабах больших железнодорожных систем автоматических сцепных устройств (автосцепки) для всего подвижного состава необходимы значительные единовременные затраты, согласованные действия многих заинтересованных и причастных организаций, структур, ведомств. Только несколько стран в мире, в частности, США, СССР, КНР оказались способны внедрить на своих железнодорожных сетях единую и совместимую систему автосцепки вагонов и локомотивов.

Ручная сцепка с винтовыми стяжками сейчас используется и на грузовом, и на пассажирском подвижном составе многих железных дорог мира. Такие сцепные устройства установлены и на первых французских высокоскоростных поездах серии TGV PSE (TGV Sud-Est) и TGV La Poste (TGV — почтовый). Как известно, эти поезда состоят из сочлененных вагонов, что исключает необходимость использования сцепных устройств между ними. Однако сцепка необходима между электровазонами и концевыми вагонами.

Широкое внедрение в начале XX в. моторвагонного подвижного состава, как электрического, так и с двигателями внутреннего сгорания, вызвало к жизни новую идеологию эксплуатации поездов. С целью экономии ресурсов, создания для пассажиров более комфортных условий проезда и повышения конкурентоспособности железнодорож-

ных компаний возникла идея увеличения или уменьшения вагонов в составе поезда в зависимости от пассажиропотока. Такие изменения иногда приходится осуществлять несколько раз в сутки. Это привело к необходимости создания автоматической сцепки, которая не только обеспечивает надежную механическую связь подвижных единиц, но и соединение электрических цепей управления и пневматических тормозных магистралей, что позволяет с меньшими затратами ручного труда осуществлять формирование поездов. В первые десятилетия XX в. было предложено несколько конструкций так называемых «жестких» автоматических сцепных устройств, обеспечивающих соединение электрических и пневматических систем поезда. Одна из удачных конструкций жесткой автоматической сцепки (патент 1904 г.) была предложена немецким инженером К.В. Шарфенбергом (Scharfenberg) для вагонов Берлинской городской скоростной железной дороги (S-bahn), а после Второй мировой войны на пригородных электропоездах внедрялась в ГДР, ФРГ, Голландии и других странах (рис. 13.59). Подобная конструкция сцепных устройств



Рис. 13.59. Автоматическое сцепное устройство на вагоне пригородной электросекции зарубежного производства (типа устройства Шарфенберга)

¹ Работа сцепщиков вагонов признана одной из самых опасных профессий.

была принята для вагонов на метрополитенах в СССР.

Создание высокоскоростного подвижного состава потребовало новых решений вопроса о сцепных приборах для соединения локомотивов с вагонами и вагонов между собой с учетом условий надежности и безопасности эксплуатации при высокой скорости. При организации высокоскоростного движения во всех странах была принята концепция использования составов постоянного формирования, которые в процессе эксплуатации не требуют переформирования и используются на протяжении всего срока службы в том виде, в котором были выпущены заводами. Это, на первый взгляд, несколько упростило требования к сцепным межвагонным устройствам, поскольку в повседневной эксплуатации не требовалось часто соединять и разъединять вагоны высокоскоростных поездов, а производить эти работы только при ремонте в депо. Однако повышенные требования к сцепным устройствам высокоскоростных поездов диктовались требованиями надежности, безопасности, увеличенными динамическими нагрузками при высокой скорости движения.

В Японии и других странах для соединения между собой вагонов высокоскоростных поездов стали использовать конструкции, в частности типа Сибата (Shibata), созданные на основе технической идеи жесткой автоматической сцепки Шарфенберга (рис. 13.60). Автосцепка облегченного типа такой же разновидности устанавливалась на промежуточных вагонах первого советского скоростного поезда ЭР200. На лобовых стенках концевых вагонов этого поезда устанавливалась серийная отечественная автосцепка СА-3 (позже СА-3М).

На зарубежных высокоскоростных поездах — на головных вагонах или локомотивах, используемых для производства маневровой работы или передвижения высокоскоростного поезда в чрезвычайных ситуациях вспомогательным локомотивом (другим поездом), устанавливались сцепные приборы,

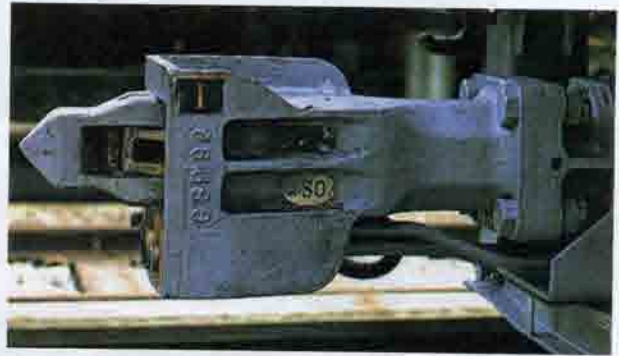


Рис. 13.60. Жесткая автосцепка вагонов японских высокоскоростных поездов (разновидность сцепки Шарфенберга)

совместимые с теми, что используются на обычном подвижном составе. Как правило, на головных вагонах или локомотивах эти сцепные устройства постоянно закрыты кожухами-обтекателями и для доступа к автосцепке требуется их демонтаж.

В 90-е годы прошлого века вначале в Японии, а затем и в ряде европейских стран (Франции, Германии и др.), началась реализация идеи использования в разные часы суток в зависимости от пассажиропотока одинарных или двойных составов высокоскоростных поездов. Для этого в случае необходимости осуществляется быстрое объединение или разъединение двух поездов. В некоторых странах появились так называемые «У-образные маршруты». На них два поезда, сцепленные вместе, выходят с какой-то большой станции, вместе доходят до станции, где маршрут разветвляется. Здесь прямо на пути у пассажирской платформы происходит разъединение двух поездов, далее каждый из них продолжает одиночным порядком следование по своему маршруту.

Для обеспечения такого маневра на головных вагонах (локомотивах) высокоскоростных поездов также устанавливаются автосцепки типа устройства Шарфенберга, которые позволяют машинистам двух поездов без привлечения дополнительных работников производить сцепку или расцепку состава. При сближении двух поездов для объединения в один состав раскрывают элементы



Рис. 13.61. Головной вагон высокоскоростного поезда серии ЕЗ в положении с закрытым обтекателем сцепного устройства. Япония. 2001 г.



Рис. 13.62. Вид сцепного устройства поезда серии ЕЗ с открытым обтекателем. Япония 2001 г.

кожухов-обтекателей (рис. 13.61, 13.62) и открывают сцепные устройства. Соединяясь, они обеспечивают механическую сцепку двух подвижных единиц и объединение тормозных пневматических трубопроводов и электрических цепей управления двух поездов. Расцепка двух поездов также производится без использования ручного физического труда — машинистом с пульта управления поездом.

13.5. Подвижной состав с устройствами для наклона кузова

На существующих железнодорожных линиях возможности повышения скорости движения в кривых ограничены действием на вагон и пассажиров повышенного поперечного (центробежного) ускорения, которое возрастает пропорционально квадрату скорости и убывает пропорционально радиусу кривой. Центробежное ускорение вызывает силу, прижимающую вагон к наружному рельсу, превышение некоторой величины которой вызывает опасность схода подвижного состава с рельсов. Пассажиры также испытывают действие центробежной силы, направленной от центра кривой и стремящейся отбросить их к боковой стенке вагона, что создает дискомфорт при езде. Максимально допустимое поперечное ускорение для экипажа определяется усилиями, действующими на путь, и значительно превосходит то, которое без ощущения дискомфорта переносит человек.

Частично действие центробежного ускорения в кривых снижается за счет устройства пути с возвышением наружного рельса (рис. 13.63). При этом некоторая доля

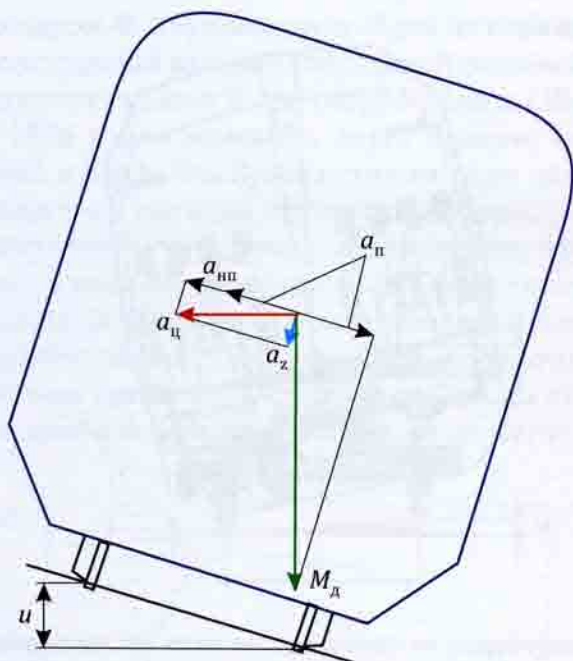


Рис. 13.63. Компенсация поперечного ускорения за счет возвышения наружного рельса в кривых: a_{np} — непогашенное поперечное ускорение; a_n — поперечное ускорение, скомпенсированное за счет возвышения наружного рельса; a_z — центробежное ускорение; a_z — доля поперечного ускорения, воспринимаемая пассажиром как вертикальное; M_d — сила тяжести; u — возвышение наружного рельса

центробежной силы компенсируется, а часть, определяемая «недостатком возвышения», остается и ухудшает условия проезда пассажиров. Недостаток возвышения наружного рельса может привести к увеличению действующего поперечного ускорения на 20—40 %.

При невозможности реконструкции пути с целью уменьшения участков кривых или увеличения их радиуса выходом из сложившейся ситуации является применение вагонов с устройствами для наклона кузова (ВНК). При их использовании некоторая доля центробежного ускорения ощущается пассажирами как вертикальное ускорение, что улучшает комфортность езды. Однако система наклона кузова не должна компенсировать центробежную силу полностью, иначе у пассажиров может возникнуть ощущение болезни движения (укачивания, морской болезни), которое появля-

ется в случае недостатка бокового ускорения при следовании в кривой.

Рассмотрим проблему воздействия центробежного ускорения на пассажира с формальной точки зрения. Скорость поезда в кривой v зависит от возвышения u наружного рельса и u_f недостатка возвышения, допустимая величина которого определяется уровнем комфорта пассажиров. В нормах Международного союза железных дорог (МСЖД) на строительство и эксплуатацию железных дорог допустимая скорость в кривых определяется по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{u + u_f}{11,8}} r, \text{ км/ч},$$

где r — радиус кривой, м.

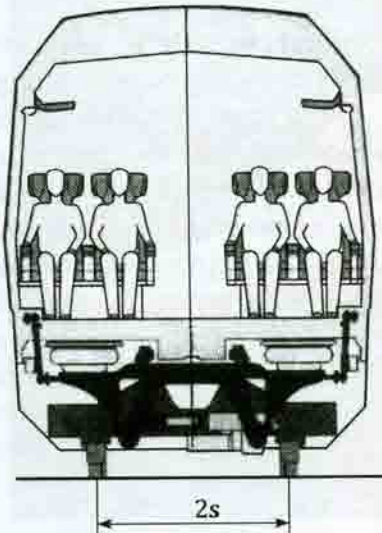
Во время включения системы наклона верхняя часть кузова наклоняется к центру кривой, что по воздействию на пассажира равносильно дополнительному возвышению наружного рельса (рис. 13.64). Это кажущееся возвышение $u_n = 2stg\gamma$ (где $2s$ — расстояние между кругами катания колес, γ — угол наклона кузова относительно плоскости рельсов) позволяет увеличить скорость движения поезда в кривой:

$$v = \sqrt{\frac{u + u_f + u_n}{11,8}} r, \text{ км/ч}.$$

При движении с такой скоростью в вагоне, не оборудованном устройством наклона кузова, возникает критическое значение поперечного ускорения ($1,6 \text{ м/с}^2$); в ВНК ускорение снижается до $0,5 \text{ м/с}^2$. Как уже отмечалось выше, чтобы избежать приступа морской болезни пассажиры должны испытывать некоторое поперечное ускорение. При расчетах принимается достаточным, чтобы кажущееся возвышение, возникающее при наклоне кузова, составляло две трети от недостатка возвышения наружного рельса $u_n = 2/3 u_f$.

Исследования показали, что за счет применения системы наклона кузова скорость движения в кривых может быть увеличена приблизительно на 25 %. При этом время в пути, в зависимости от плана и профиля линии, снижается на 10—20 %.

а



б

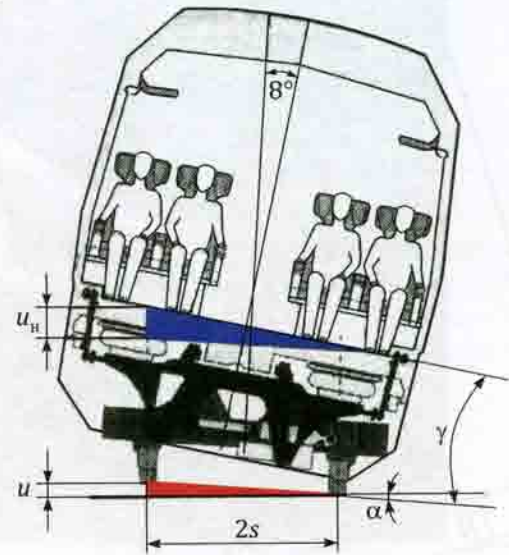


Рис. 13.64. Компенсация центробежного ускорения, действующего на пассажира, за счет наклона кузова вагона: а — движение по прямой; б — движение в кривых; u — возвышение наружного рельса; α — угол возвышения; u_n — добавочное возвышение за счет наклона кузова; γ — угол наклона плоскости пола вагона

13.6. Примеры технических решений конструкций подвижного состава с наклоном кузова

Различают две основные системы наклона кузовов вагонов в кривых: пассивную и активную.

В **пассивных системах наклона** конструкция подвешивания экипажа аналогична маятнику: воображаемая точка подвеса кузова расположена выше его центра масс, например, в вагонах типа Talgo она поднята примерно на 2 м над уровнем пола, т.е. находится на 2,3—3,4 м выше уровня головки рельса. При движении в кривой центр масс под действием центробежной силы смещается наружу, обеспечивая необходимый наклон кузова. В такой системе угол наклона кузова определяется собственной частотой колебаний воображаемого маятника и параметрами участка пути и может достигать 3—5°. При этом компенсируется около 40 % центробежной силы, а скорость в кривых с возвышением наружного рельса 150 мм повышается примерно на 14 %.

Активные системы наклона применяют в кузовах, поворот которых производится

принудительно вокруг точки, почти совпадающей с центром масс вагона (в большинстве конструкций вагонов с такой системой она находится примерно на 0,4 м выше уровня пола и на 1,3—1,9 м выше уровня головки рельса). При входе в кривую специальные датчики включают систему управления приводом наклона кузова вагона; устройство может быть электрическим, пневматическим или гидравлическим. Обеспечивается угол наклона кузова до 10°, что позволяет компенсировать поперечное ускорение различного уровня и повысить на 25 % скорость движения в кривых с возвышением наружного рельса 150 мм. Автоматическая система управления приводами для большей надежности и безопасности дублируется.

В настоящее время более чем в 15 странах мира эксплуатируется или находится в процессе внедрения подвижной состав с ВНК. Число типов механизмов, обеспечивающих наклон кузовов вагонов в кривых, растет почти пропорционально рынку таких перевозок.

Идея создания вагонов с наклоном кузовов в кривых была высказана еще в начале XX столетия, в частности немецким ин-

женером Ф. Крукенбергом. Одна из первых конструкций вагонов с пассивной системой наклона кузовов были разработана в США в 1938 г. для железных дорог Ачисон, Топика и Санта-Фе. Кузова этих вагонов опирались на высокие пружинные опоры, установленные на рамах тележек, так, что центр масс вагонов находился ниже точек опоры. В результате при проходе кривых верхняя часть кузова наклонялась внутрь. Вагоны представляли собой два кузова обтекаемой формы, выполненные из легких

сплавов, опирающиеся на две концевые независимые двухосные тележки (колесная база 2,73 м) и центральную промежуточную двухосную тележку (база — 3,68 м). Испытания этого вагона показали хорошие результаты, но относительная сложность конструкции тележек, устройства подвешивания и кузовов не способствовала широкому распространению.

Современные системы наклона кузова вагона различных поездов имеют конструкционные особенности.

Пассивная система наклона кузова вагонов японских электропоездов серии 381 была первой, успешно введенной на серийно выпускаемых поездах, находящихся в коммерческой эксплуатации (с 1973 г.) (рис. 13.65). В этих поездах система наклона кузова вагона включает наддресорную балку тележки с установленными на ней опорными роликами, по которым может перекачиваться нижняя закругленная балка кузова. При проходе поездом кривой кузов под воздействием центробежных сил по-

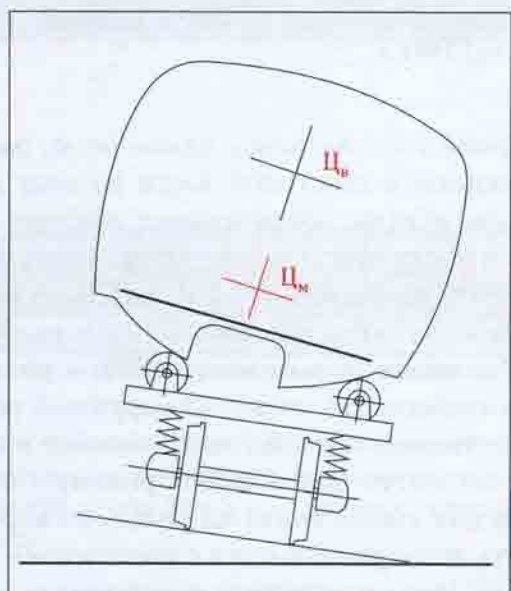


Рис. 13.65. Электропоезд серии 381; схема устройства наклона кузова: $\text{Ц}_в$ — центр вращения; $\text{Ц}_м$ — центр масс. Япония. 2010 г.

ворачивается вокруг центра вращения (Цв), поскольку центр масс вагона (Цм) находится ниже.

Пассивная система наклона кузова вагона фирмы Patentes Talgo (Испания) также, как и конструкция вагонов японского электропоезда серии 381, не требует для функционирования дополнительного источника энергии.

В начале 40-х годов XX в. была предложена и воплощена в жизнь интересная техническая идея, положившая начало особому направлению в конструировании скоростного, а в последующем и высокоскоростного подвижного состава, — созданию поездов из легких сочлененных вагонов. Речь идет о поездах Talgo¹. Техническая идея вагонов типа Talgo обозначена в самом названии: «сочлененные легкие вагоны» (патент 1942 г.) — относительно короткие по длине, с одной осью, расположенной на заднем (по ходу движения) конце вагона (уменьшена масса). Передней частью каждый вагон опирается на предыдущий, первый вагон опирается на локомотив (рис. 13.66, 13.67).

Вагоны опираются на разрезные оси с независимой подвеской и вращением колес в колесной паре. Благодаря этому удалось существенно опустить центр тяжести и уменьшить высоту вагона. Высота пола в пассажирских салонах составляет всего 365 мм от уровня головки рельса, в то время как в обычных пассажирских вагонах — около 1000 мм. Места сочленения вагонов закрываются гибкой обшивкой.

Такой «змееобразный» поезд из коротких вагонов с низким центром тяжести и небольшими по высоте кузовами, хорошо вписывался в кривые малого радиуса, проходя их со скоростью до 160 км/ч (рис. 13.68).

¹ Аббревиатура от испанского: Tren Articulado Ligero Goicoetxea Oriol — «Поезд сочлененный легкий Гойкоэчеа и Ориоля» (содержит фамилии изобретателя и предпринимателя).

В публикациях встречаются искажения технической идеи поезда Talgo, многие связывают поезд с конструкцией колесной пары, предназначенной для движения по колее разной ширины. Тележки с такими колесными парами появились на поездах Talgo только в 1969 г.



Рис. 13.66. Поезд Talgo 1 (вагоны без наклона кузова) 1944 г.

Кроме того, вагоны с одной осью, расположенной в хвостовой части по ходу движения поезда, обеспечивают высокую безопасность при проходе кривых, поскольку гребень наружного колеса имеет отрицательный угол по отношению к рельсу и это снижает возможность схода с рельсов при «набегании» колеса на наружный рельс. Естественно, что внутреннее колесо в этом случае имеет более благоприятную позицию для «набегания» на рельс, но вероятность этого уменьшается с увеличением скорости. Несимметричная конструкция вагонов имеет недостаток, так как поезд может двигаться только в одном направлении. В конечном пункте маршрута поезд должен осуществлять оборот на участке пути в виде петли. Этот недостаток был устранен в последующих модификациях вагонов.

Позже идея вагонов была дополнена системой пассивного маятникового наклона в поездах Talgo Pendular (от исп.: Pendular — маятник) (рис. 13.68, 13.69). Ее достоинства — экономичность и высокая надежность. Пассивный наклон кузова при прохождении кривых достигается тем, что пневматические рессоры, на которые он опирается, подняты в верхнюю часть вагона и плоскость подвеса находится значительно выше центра масс (см. рис. 13.68). Благодаря такому расположению пневморессор кузов вагона фактически представляет собой маятник. При следовании ва-

а



б



в



Рис. 13.67. Поезда Talgo (вагоны с наклоном кузова): а — первый поезд Talgo II. 1950 г. Испания; б — установка гибкой обшивки межвагонного перехода: видны элементы первичного подвешивания вагона (50-е годы XX в.); в — концевой и промежуточные вагоны поезда Talgo III. 60-е годы XX в. Испания

гона в кривой на кузов действует центробежная сила и наклоняет его на угол, величина которого пропорциональна ускорению.

Маятниковая система наклона кузова вагона Talgo Pendular реализуется благодаря особой конструкции одноосных тележек (см. рис. 13.67, 13.68). Система Talgo Pendular обеспечивает оптимальный угол наклона кузова (до $3,5^\circ$) с учетом скорости движения и характера пути. Поезда Talgo при ускорении в плоскости рельсов, равном $1,6 \text{ м/с}^2$, могут развивать скорость на 19 % большую, чем поезда с обычными вагонами. При одинаковой скорости движения использование устройств ВНК уменьшает непогашенное ускорение, действующее на пассажиров, примерно на 75 %. Недостатком пассивных систем является запаздывание наклона кузова при входе вагона в кривые.

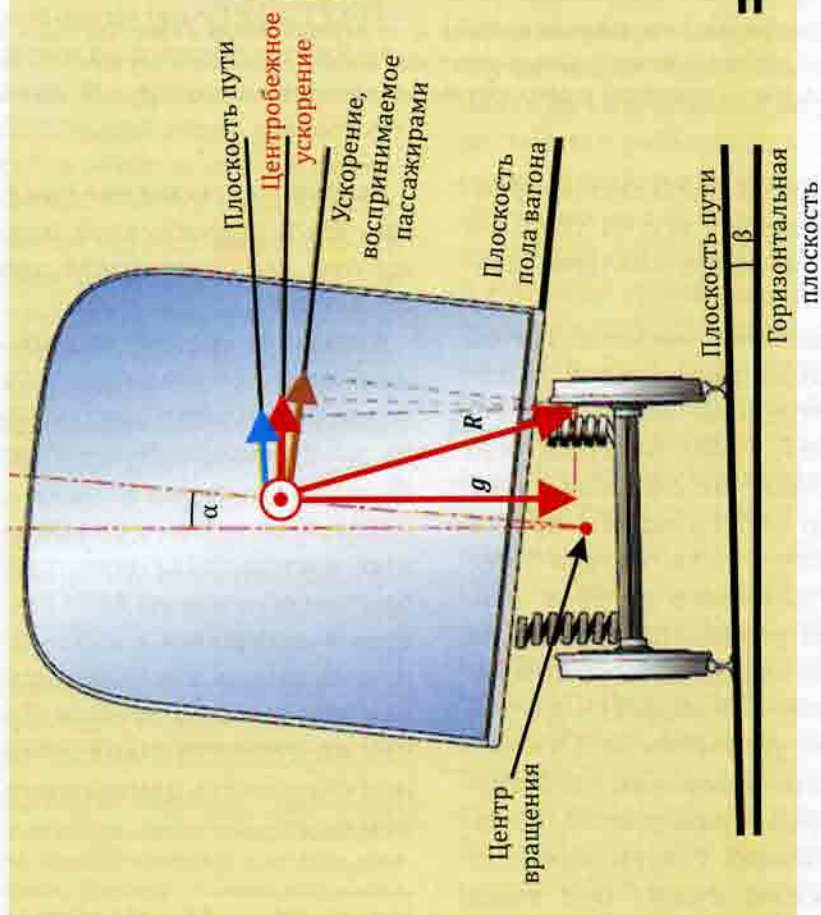
Активные системы наклона кузова на 20—25 % эффективней пассивных, поэтому они получили более широкое распространение.

Активную систему наклона кузова вагона в кривых начали разрабатывать в 70-х годах XX столетия, независимо друг от друга, конструкторы Великобритании, Италии, Швеции, Франции, Японии.

Одной из первых реализованных активных систем была конструкция опытного британского поезда АРТ¹ (см. рис. 13.70), который создавался в 1962—1985 гг. Вагоны поезда имели механизм принудительного наклона кузова в кривых. Предполагалось, что на существующих линиях поезд сможет обеспечить движение со скоростью до 250 км/ч.

¹ От англ.: Advanced Passenger Train (APT) — «Новейший пассажирский поезд».

а



б

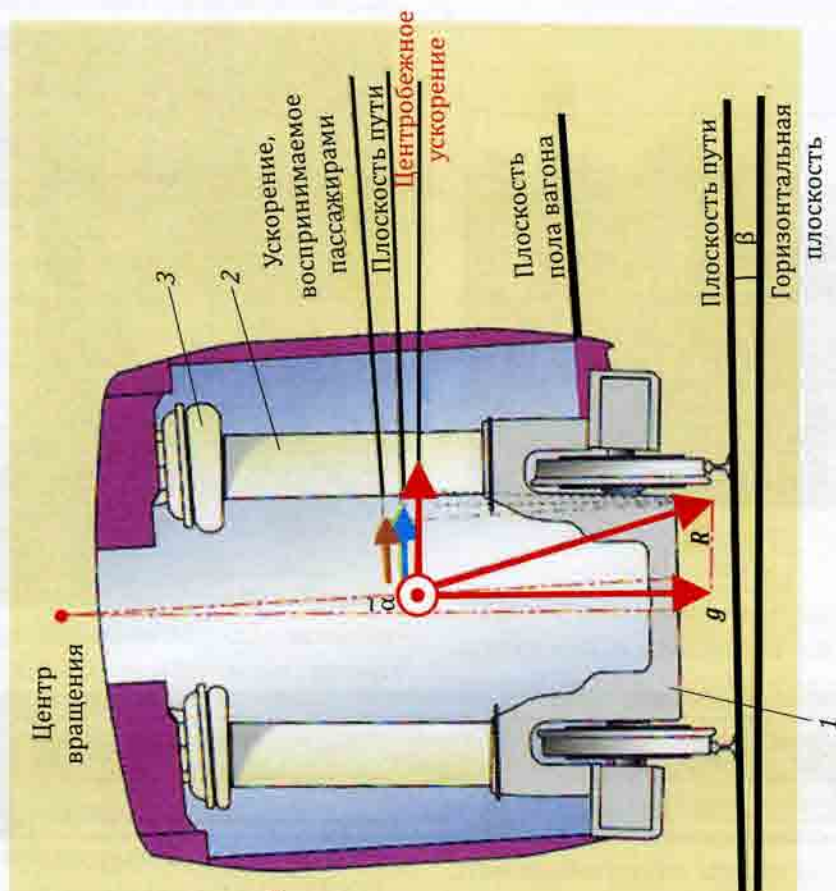


Рис. 13.68. Схема пассивной системы наклона кузова вагона Talgo: а — схематическое изображение обычного вагона; б — вагон Talgo Pendular; 1 — рама одноосной тележки; 2 — колонны, на которые опирается кузов; 3 — резиновые баллоны пневматического подвешивания (положение кузовов вагонов показано в момент движения по кривой)

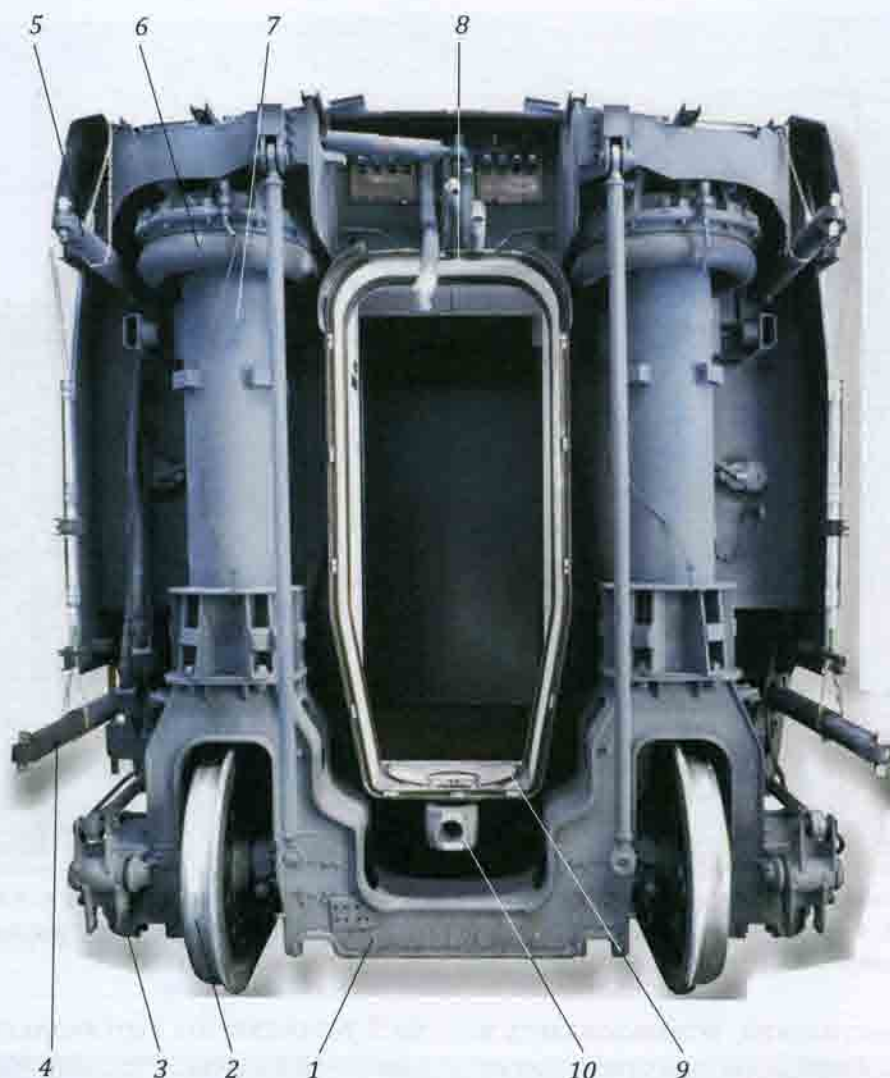


Рис. 13.69. Вид на торцевую стенку вагона поезда Talgo Pendular в расцепленном состоянии: 1 — рама одноосной тележки вагона (с независимыми «полуосями» для каждого колеса); 2 — колесо; 3 — узел буксы и механизма перемены колеи; 4 — нижний межвагонный гидравлический гаситель колебания; 5 — верхний межвагонный гидравлический гаситель колебания; 6 — баллон пневмоподвески («подушка») в спущенном состоянии; 7 — опорная колонна; 8 — межвагонный переход; 9 — площадка и дверь межвагонного перехода; 10 — элемент межвагонного сцепного устройства

В конструкции вагона поезда АРТ изогнутая люлочная балка подвешена к поперечной балке тележки через угловые качающиеся подвески, а гидравлические цилиндры наклона смещают ее в поперечном направлении вместе с кузовом. Пневматические рессоры второй ступени подвешивания расположены между люлочной балкой и кузовом, что позволяет им работать независимо от наклона кузова.

Команду на наклон кузова подает компьютер, получающий величины исходных боковых ускорений от датчиков, находя-

щихся на уровне пола и потолка вагонов. Максимальная величина отклонения кузова от вертикали в ту или другую сторону с помощью гидроцилиндров составляла 9° , еще 3° отклонения могли добавить газовые пружины за счет изменения в них давления азота.

Несмотря на успехи в реализации отдельных компонентов системы и постройки нескольких опытных поездов на газотурбинной и электрической тяге, программа создания поезда АРТ в целом не была реализована. Отдельные разработки, сделанные

а



б

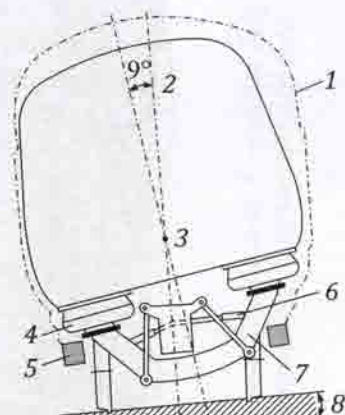


Рис. 13.70. Опытный высокоскоростной поезд АРТ-Е. Великобритания. 1974 г.: а — головной вагон; б — схема механизма наклона кузова: 1 — габарит подвижного состава; 2 — угол наклона; 3 — центр вращения; 4 — баллон пневматической рессоры; 5 — рама тележки; 6 — гидроцилиндры наклона; 7 — поперечная балка тележки; 8 — угол наклона плоскости пути

в ходе ее осуществления, использовались в некоторых серийных образцах британского пассажирского подвижного состава.

В 1972 г. фирма Fiat Ferroviaria¹ (Италия) провела успешные опыты с электровагоном, оборудованным электрогидравлической системой наклона кузова, которая в 1975 г. была использована в прототипе поездов с ВНК, получившем наименование Pendolino 401 (рис. 13.71).

Устройство наклона кузова, опробованное в вагонах поезда Pendolino 401, было использовано в серийном поезде Pendolino 450 (1989 г.) (рис. 13.72). В конструкции изогнутая U-образная надрессорная балка тележки 4 (на рис. 13.73 выделена желтым цветом) опирается на винтовые пружины второй ступени подвешивания 9, а кузов вагона подвешивается к ней на качающихся подвесках (серьгах) 3. Длинноходовые гидравлические цилиндры наклона кузо-

ва 5 установлены вертикально, их нижние концы закреплены на надрессорной балке, а верхние прикреплены к кузову вагона на уровне крыши. При выдвижении штоков цилиндров с одной стороны и втягивании с другой кузов поворачивается относительно продольной оси.

Такое устройство использовалось и на подвижном составе других типов с системой наклона кузовов по типу Pendolino, например в дизель-поезде VT610 железных дорог Германии (рис. 13.74). Недостатком системы являлась необходимость устройства в тамбурах вагонов почти на всю высоту кузова специальных отсеков для размещения гидроцилиндров наклона, что сокращало полезную площадь тамбуров. В электропоездах ETR 460/470, ETR 480 второго поколения гидравлические цилиндры уже размещены под полом кузова вагона на тележках.

Рассмотрим конструкцию тележек поездов Pendolino последних серий, включая

¹ Ныне входит в концерн Alstom.



Рис. 13.71. Поезд Pendolino 401 на кривом участке пути. Италия. 1975 г.



Рис. 13.72. Поезд Pendolino 450 на прямом участке линии. Италия. 1989 г.

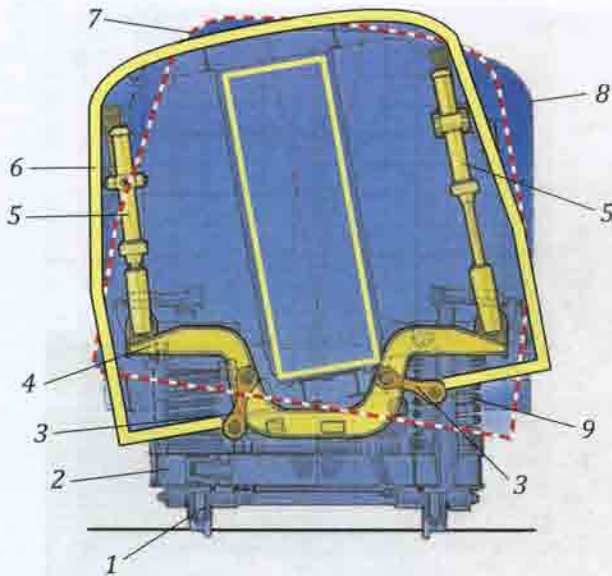


Рис. 13.73. Поезд Pendolino 450 с активной системой наклона кузова вагона: 1 — колесная пара; 2 — рама тележки; 3 — качающиеся подвески (серьги); 4 — U-образная надressорная балка тележки; 5 — длинноходовые гидравлические цилиндры; 6 — контур сечения кузова вагона при наклоне влево (соответствует положению качающихся подвесок на рисунке); 7 — контур сечения кузова вагона при наклоне вправо; 8 — контур сечения кузова вагона при среднем положении; 9 — пружины центрального подвешивания. Италия. 1989 г.

механизм наклона кузова, на примере поезда ETR 460/470 (рис. 13.75). Устройство тягового привода высокоскоростных поездов и конкретные примеры их исполнения будут рассмотрены в 14 главе, однако для понимания устройства тележек вагонов поездов Pendolino, несколько забежав вперед, необходимо сделать следующее пояснение. На поездах этого типа каждый моторный вагон имеет по два асинхронных тяговых электродвигателя, подвешенных к кузову вагона (рис. 13.76). Вращающий момент от двигателя передается к движущей оси карданным валом и коническим редуктором, расположенным на оси на внутренней колесной пары тележки моторного вагона. Таким образом, каждый моторный вагон имеет две движущие оси.

Тележки вагонов поезда ETR 460/470 (рис. 13.77) оснащены поводковыми буксами 14, первичное подвешивание выполнено на цилиндрических пружинах 16. В буксовых узлах расположены эластичные элементы, позволяющие колесным парам устанавливаться по радиусу кривых, что снижает сопротивление движению, износ



Рис. 13.74. Дизель-поезд железных дорог ФРГ серии VT610 с вагонами ВНК. 1990 г.



Рис. 13.75. Поезд Pendolino ЕТР 460/470. Италия. 2000 г.

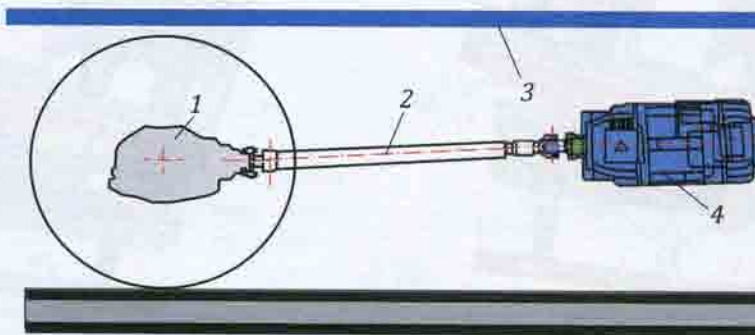


Рис. 13.76. Схема тягового привода моторных вагонов поездов Pendolino: 1 — осевой редуктор; 2 — карданный вал; 3 — кузов вагона; 4 — тяговый электродвигатель (узел крепления двигателя на схеме не показан)

колесных пар и рельсов, повышает плавность хода и уменьшает механический шум от качения колес по рельсам.

Тележки имеют рамы Н-образной формы без оконечных балок, выполненные в виде сварной конструкции 5 из листовой стали. Боковые элементы рамы соединены между собой трубчатыми балками 8, к которым через шарниры прикреплены тяги лемни-

скатного механизма¹ 9. Такой механизм является жестким (передает усилия, возникающие при тяге или торможении) вдоль вагона (вдоль оси пути), но не препятствует

¹ Лемнискатный механизм получил название от чертежного прибора в виде трех шарнирно соединенных рычагов. При вращательном движении двух крайних рычагов средняя часть центрального рычага описывает кривую, называемую лемниской Бернулли.

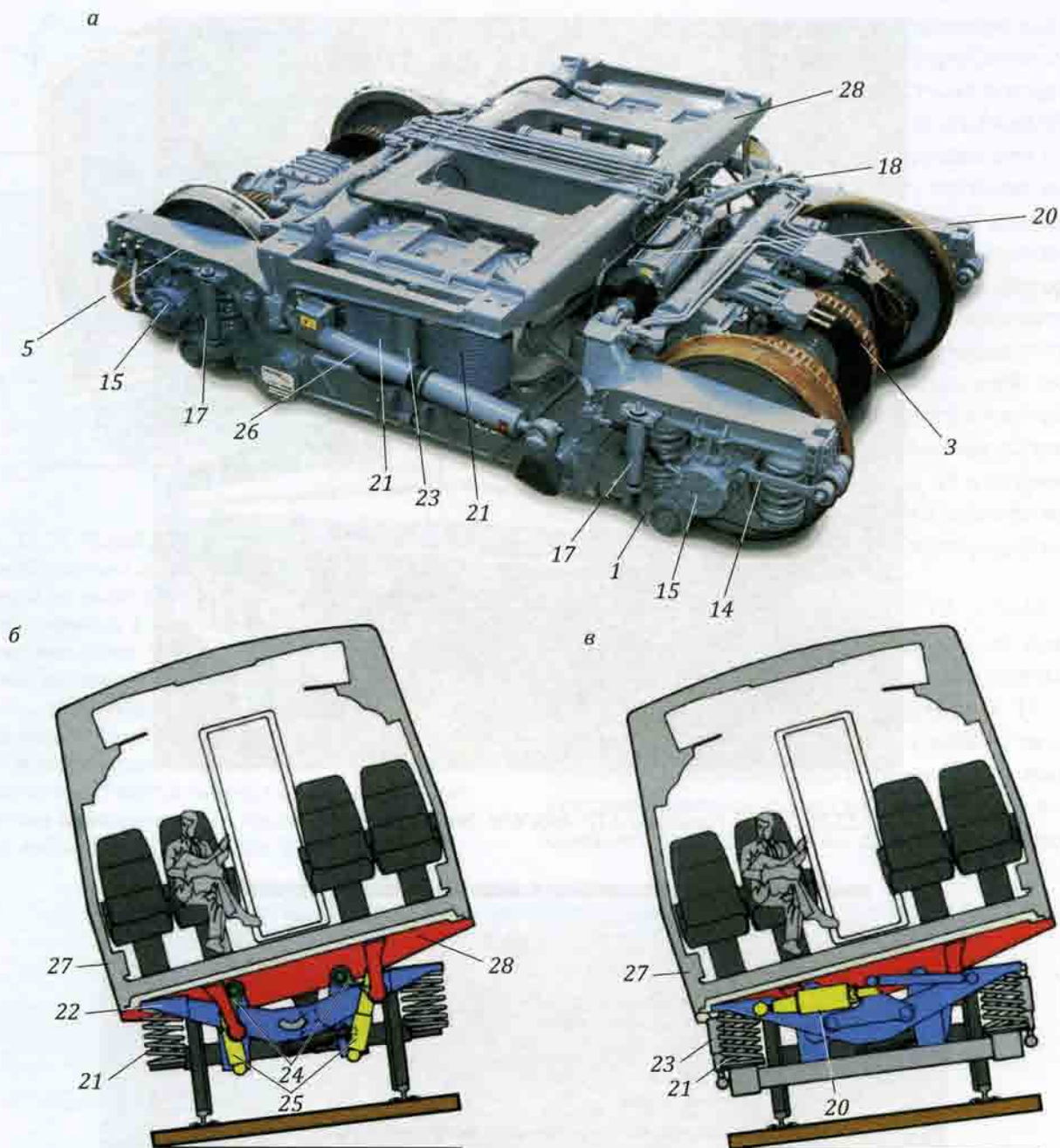


Рис. 13.77 (начало). Тележка поезда Pendolino ETR460 (Fiat Ferrovia): а — общий вид; б, в — упрощенные схемы, показывающие механизм наклона и горизонтального поворота кузова; г, д, е — компоненты сборочного чертежа; 1 — нижний поводок; 2 — поддерживающая колесная пара; 3 — тормозные диски; 4 — ось поддерживающей колесной пары; 5 — рама тележки; 6 — тормозной механизм пневматического фрикционного тормоза; 7 — опоры пружин вторичной системы подвешивания; 8 — поперечная трубчатая балка рамы тележки; 9 — лемнискатный механизм передачи усилий от тележки к кузову и наоборот, возникающих при тяге или торможении; 10 — тормозная балка; 11 — тормозной цилиндр; 12 — редуктор на оси ведущей колесной пары; 13 — карданный вал; 14 — верхние поводки; 15 — букса; 16 — пружины первичной ступени подвешивания; 17 — гидравлические амортизаторы первичной ступени подвешивания; 18 — поперечный гидравлический гаситель колебания кузова; 19 — шкворень; 20 — воздушные цилиндры механизма активной стабилизации кузова; 21 — комплект пружин вторичной ступени в собранном виде (21а, 21б, 21в) — элементы комплекта пружин; 22 — надрессорная балка; 23 — вертикальный гидравлический гаситель колебаний центральной ступени подвешивания; 24 — серьги (подвески) подвешивания поперечной балки кузова; 25 — гидроцилиндры механизма наклона кузова; 26 — гидравлические гасители колебаний виляния; 27 — кузов; 28 — поперечная балка кузова

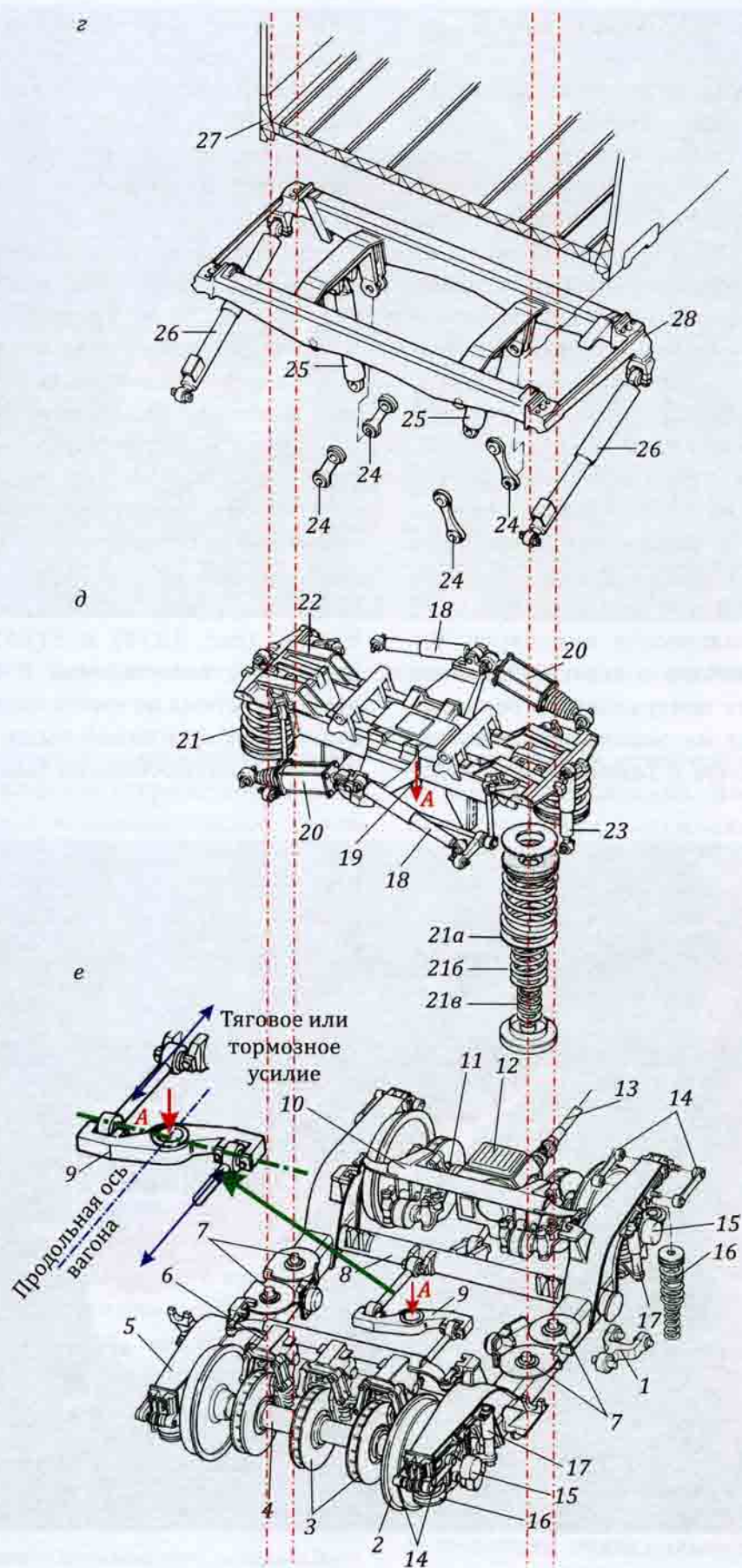


Рис. 13.77 (окончание)

перемещению кузова относительно тележки поперек пути.

Вторичное подвешивание выполнено на комплектах цилиндрических пружин «Flexicoil» 21 и 24, поддерживающих наддрессорную балку 22. К этой балке на четырех серьгах 25 подвешена поперечная балка кузова 28, который способен наклоняться в обе стороны с помощью гидравлических цилиндров 26. На тележках установлены пневматические цилиндры 20, штоки которых соединены с наддрессорной балкой и могут смещать ее и кузов относительно тележек в горизонтальной плоскости.

С помощью электронных управляющих устройств обеспечивается центрирование кузова вагона по отношению к тележке пневматическими цилиндрами 20 и наклон его верхней части внутрь кривой с помощью гидравлических цилиндров. Величину угла наклона и горизонтального смещения задает центральный процессор, который, исходя из показаний акселерометров, гироскопов и тахометров (находя-

щихся на нескольких тележках поезда), вычисляет скорость движения и непогашенное ускорение. Процессоры, расположенные в вагонах, в свою очередь, управляют наклоном каждого кузова, что осуществляется при выполнении следующих условий:

- обнаружения места перехода прямого участка в кривую и вновь в прямую и определение радиуса кривой;
- скорости движения более 70 км/ч;
- недостатка возвышения наружного рельса, которое постепенно увеличивается;
- некомпенсированного ускорения выше минимально допустимого.

Активная электрогидравлическая система *tuna Pendolino* используется в механизмах наклона кузова в поездах Alfa Pendular, Avant class 104, ČD Class 680, ETR600 (рис. 13.78) и ETR610, Sm3, Sm6 (рис. 13.79), выпускаемых в последние годы. Эта система не имеет принципиальных отличий от описанной выше и также полностью смонтирована на тележках.



Рис. 13.78. Поезд Pendolino ETR600 (ETR610). Alstom. Выставка «Innotrans». Берлин. 2008 г.



Рис. 13.79. Поезд Stb «Аллегро» на линии Санкт-Петербург — Хельсинки. 2011 г.

Управление приводом наклона кузова вагона осуществляется устройством, отслеживающим план железнодорожной линии датчиками поперечных ускорений и комбинацией из нескольких гироскопов, которые устанавливаются на первой тележке и определяют начало и конец переходной кривой по изменению бокового ускорения, а также по плавному увеличению или уменьшению возвышения наружного рельса. После обработки сигналов, поступивших от этих приборов, поездной компьютер передает вычисленное значение угла наклона по поездной линии связи (информационной шине) во все вагоны. Запаздывание начала и окончания наклона рассчитывается процессором каждого вагона в зависимости от скорости движения.

Активная система наклона кузова фирмы ADtranz¹ используется на поезде X 2000, близка по конструкции к системе Pendolino, но имеет некоторые особенности (рис. 13.80, 13.81). Поезд X2000 формируется из электровоза и пяти или шести при-

цепных вагонов, концевой из которых имеет кабину управления. Поезд может двигаться вперед с максимальной скоростью 200 км/ч, как локомотивом, так и вагонами, при этом управление ведется из кабины концевой вагона. Кузов электровоза в поездах X 2000 не наклоняется. Механизмы наклона кузовов вагонов управляются с помощью датчика бокового ускорения, смонтированного на первой тележке. Компьютер, по данным о скорости движения, вычисляет угол, на который необходимо наклонить кузов каждого вагона. Наибольший угол наклона составляет $6,5^\circ$, а максимальная скорость наклона — 4 град/с.

В новейших разработках японских поездов линии Синкансэн, в частности серии 700, N700, E5, E6 (рис. 13.82) применены устройства центрального пневматического подвешивания, выполняющие также и функцию наклона кузова вагона в кривых, впрочем, на небольшую величину — около $1,5$ — 3° . Однако на линиях «Токайдо—Синкансэн» и Санъё, построенных в 1960—70-е годы и имеющих максимальные радиусы кривых порядка 2500 м, использование поездов

¹ В настоящее время — составная часть концерна Bombardier.

а



б

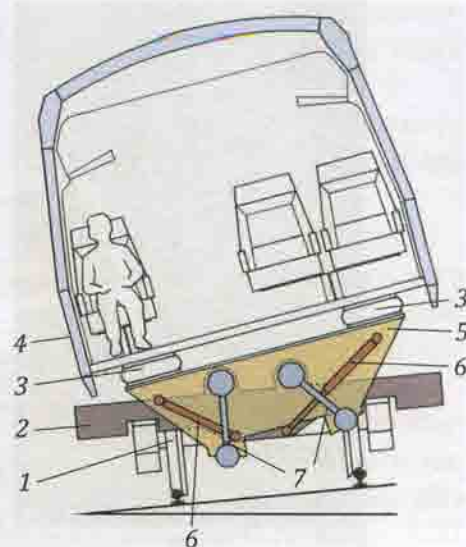


Рис. 13.80. Высокоскоростной поезд X2000 (X2): а — общий вид поезда со стороны концевой вагона с кабиной управления, проходящего кривую с наклоном кузовов вагонов; б — схема устройства наклона кузова вагона: 1 — колесная пара; 2 — рама тележки; 3 — пневматические рессоры центрального подвешивания; 4 — кузов вагона; 5 — качающаяся балка (опора пневматических рессор); 6 — гидроцилиндры наклона кузова; 7 — качающиеся подвески. Швеция. 1989 г.

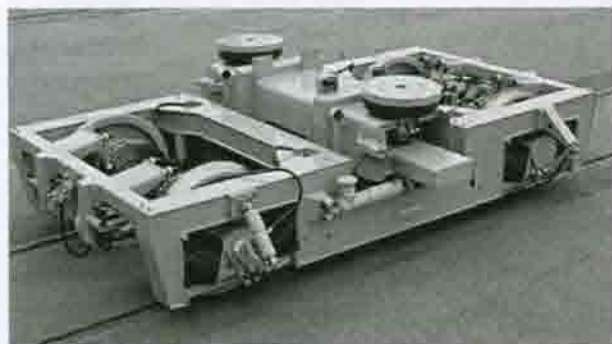


Рис. 13.81. Тележка вагона поезда X2000. Швеция. 1999 г.

серии 700 и N700 позволило при столь небольшой величине принудительного наклона кузовов вагонов поднять максимальную скорость движения на 10—15 %.

Особой проблемой при проектировании электропоездов с наклоняемыми кузовами вагонов является размещение токоприем-

ника, который, несмотря на наклон кузова в кривых, должен постоянно находиться над осью пути в вертикальном положении, чтобы не нарушался контакт между ползком и проводом. Кроме того, требуется сохранять вписывание токоприемника в габарит подвижного состава.

У поездов Pendolino токоприемники на крыше помещены на салазки, которые связаны тягами с рамой тележки, что обеспечивает устойчивое центрированное положение токоприемника при наклоне кузова. Тяги соединены с тележкой посредством демпферов, что смягчает вибрации, получаемые от пути через тележку (рис. 13.83).

Применение подвижного состава с ВНК дает положительный результат. Время в пути поездов с ВНК по сравнению с обычными уменьшается примерно на 10—20 %. При этом удорожание подвижного состава со-

а



б

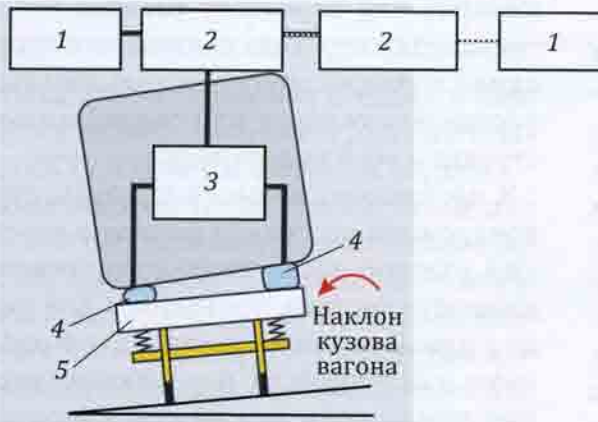
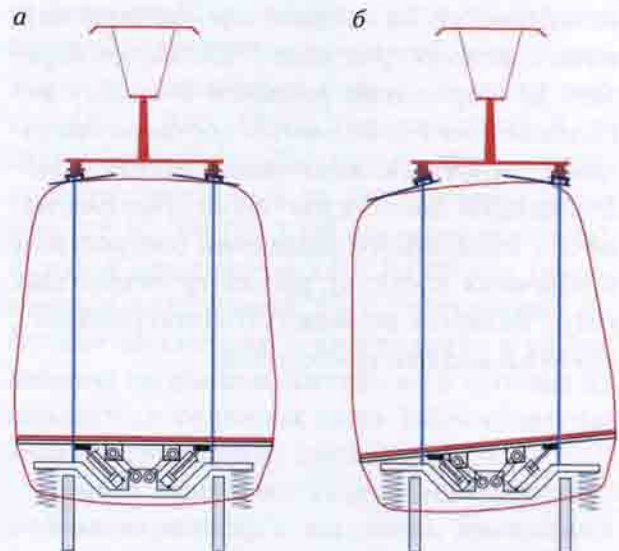


Рис. 13.82. Высокоскоростной поезд серии N700: а — общий вид; б — схема устройства механизма наклона кузова вагона: 1 — компьютер головного вагона — компонент цифровой автоматической системы управления движением поезда; 2 — компьютеры всех вагонов, входящие в систему управления поездом; 3 — устройство управления пневматическими рессорами центрального подвешивания вагона; 4 — пневматические рессоры центрального подвешивания; 5 — рама тележки. Япония. 2007 г.

Рис. 13.83. Схема устройства коррекции положения токоприемника поезда Pendolino: а — положение кузова вагона на прямом участке пути; б — положение в кривой



ставляет 5—10 %. При эксплуатации ВНК заметно снижение энергозатрат на тягу поезда, так как скорость движения становится более равномерной и нет торможений и разгонов при входе и выходе из кривой.

Вместе с тем отмечается ряд недостатков:

- для эксплуатации таких поездов необходимо повышенное качество содержания пути, особенно в кривых;

- на горных линиях с малыми радиусами кривых выигрыш во времени оказывается незначительным;

- большие центробежные силы приводят к появлению значительных механических напряжений в конструкции и быстрому износу пути и ходовой части подвижного состава;

- более сложная конструкция подвижного состава, помимо увеличения его цены, о чем говорилось выше, влечет за собой и удорожание технического обслуживания, что особенно отмечается в странах с суровыми зимним условиями эксплуатации (обилием снега и продолжительным периодом отрицательных температур).

Кроме того, применение поездов с наклонном кузовов вагонов в кривых создает дополнительные проблемы, связанные с обеспечением безопасности движения, поскольку задание предельной скорости в кривых устройствами перегонной автоматики должно осуществляться отдельно для поездов с ВНК и без них. В этой связи ведется разработка специализированной системы безопасности на линиях, где эксплуатируются высокоскоростные ВНК. Таким образом, для принятия решения в пользу использования тех или иных поездов необходимо технико-экономическое обоснование для каждой линии с учетом ее профиля, наличия смешанного движения (скоростных и обычных поездов), рынка транспортных услуг, включая возможную конкуренцию с другими видами транспорта.

13.7. Конструктивные особенности подвижного состава с устройствами, обеспечивающими эксплуатацию на железных дорогах с разной шириной колеи

В главе 7 рассматривались проблемы взаимодействия ВСМ, имеющих разную ширину колеи. В мире уже на протяжении более ста лет разрабатывается подвижной состав, способный переходить с одной железнодорожной колеи на другую. Эти работы начались задолго до создания специализированных ВСМ. Речь идет о странах, где соседствовали или стыковались железнодорожные линии разной колеи, например, в США, Российской империи, Испании. С помощью универсального подвижного состава пытались организовать по путям разной колеи беспересадочное сообщение для пассажиров или перевозку товаров без перегрузки. Для перехода подвижного состава с одной колеи на другую использовались перестановка тележек или специальные конструкции осей колесных пар.

К настоящему времени в разных странах предложено несколько десятков конструкций ходовой части железнодорожного подвижного состава, пригодного для перехода с одной колеи на другую с помощью специальных устройств, изменяющих расстояние между колесами на оси колесной пары, несколько из этих конструкций уже находятся в коммерческой эксплуатации или близки к ней (табл. 13.5). В XX столетии Испания, имеющая более широкую колею (1668 мм), чем большинство других европейских стран испытывала трудности при организации прямых железнодорожных сообщений со странами западной и центральной Европы. В Испании в коммерческой эксплуатации находятся две системы: компании Talgo (с 1969 г.) и CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, с 2003 г.), в Польше с 2000 г. используются раздвижные колесные пары типа SUM 2000, выпускаемые предприятием ZNTK Poznań; оригинальные конструкции колесных пар с изменяемым расстоянием между колесами

Таблица 13.5

Основные типы подвижного состава, предназначенного для движения по железным дорогам с разной колеей (смена колеи)

Система	Talgo	CAF	SUW 2000	Rafia	Японская
Страна	Испания	Испания	Польша	ФРГ	Япония
Год начала коммерческого использования	1969	2003	2000	—	—
Пассажирские вагоны	да	да	да	нет	да
Грузовые вагоны	нет	нет	да	да	нет
Локомотивы и моторные вагоны	да	да	нет	нет	да
Переход с одной колеи на другую колею с нагрузкой на колесных парах	нет	нет	да	да	нет
Тип действия стопорного механизма	Подъемом фиксатора при проходе устройства	Подъемом колесной пары при проходе устройства	Воздействием на наружный фиксатор при проходе устройства		Подъемом колесной пары при проходе устройства
Конструкционная скорость по магистрали, км/ч	ВСМ (1435 мм) — 250 Широкая колея (1668) — 220		90	90	ВСМ (1435 мм) — 270 узкая колея (1067 мм) — 130

испытываются в Германии, а также в Японии. В последней построены два опытных поезда GCT с такими колесными парами.

В различных системах устройствами для изменения расстояния между колесами оборудуются либо только вагоны, либо локомотивы и вагоны, включая моторные. Конструкция колесных пар с устройствами для изменения расстояния между колесами для моторных тележек локомотивов или моторных вагонов электропоездов существенно сложнее, чем для прицепных. В силу этого часто осуществляют перевод с одной колеи на другую только прицепных вагонов (грузовых или пассажирских), при этом на путях с разной шириной колеи используют свои локомотивы. Однако, с точки зрения уменьшения общего времени прохождения поездов через устройства перехода с одной колеи на другую, особенно в скоростном и высокоскоростном движении, в эксплуатационном плане выгоднее иметь подвижной состав — и локомотивы, и моторные вагоны, и прицепные вагоны, комплексно оборудованные устройствами изменения расстояния между колесами на оси.

Первоначально (с 1969 г.) компания Talgo (Испания) выпускала устройствами, позволяющими переходить с одной колеи на другую, только вагоны для высокоскоростных поездов. Их производство продолжается и в настоящее время (рис. 13.84). При использовании таких вагонов локомотивы не переходят через «границу» участков разной колеи, а на каждом из них используется локомотив своего типа. Впоследствии были сконструированы и выпускаются в настоящее время высокоскоростные поезда с тепловозами и электровозами с колесными парами, позволяющими переходить с одной колеи на другую (рис. 13.85, 13.86). Так, например, в состав поезда Talgo 250 входят два электровоза, рассчитанных на две системы питания (25 кВ, 50 Гц; 3 кВ постоянного тока), каждый мощностью 2400/2000 кВт (переменный/постоянный ток). Электровозы работают по системе «тяги-толкай» и расположены по концам состава из 8 вагонов на одноосных тележках типа Talgo с пассивными устройствами наклона кузова.

Помимо компании Talgo высокоскоростной электропоезд с вагонами, имеющими



Рис. 13.84. Скоростной поезд из прицепных вагонов типа Talgo (на переднем плане фото — концевой вагон поезда, движущегося от наблюдателя). 2000 г.



Рис. 13.85. Дизель-поезд Talgo XXI включает два тепловоза мощностью по дизелю по 1500 кВт, расположенных по концам состава и работающих по системе «тяги-толкай». В поезд входят шесть вагонов на одноосных тележках типа Talgo с пассивными устройствами наклона кузова. 1999 г.



Рис. 13.86. Высокоскоростной электропоезд Talgo 250 (по классификации испанских железных дорог класс 130 или S-130)

устройства для перехода с одной колеи на другую, выпускает испанская компания CAF (рис. 13.87). Поезд серии 120/121, состоящий из четырех моторных вагонов, производится совместно компаниями CAF и Alstom и предназначен для линий, электрифицированных на переменном токе напряжением 25 кВ, частотой 50 Гц и постоянном токе напряжением 3 кВ.

У каждого вагона поезда серии 120/121 одна из двух осей тележки (внутренняя, по отношению к оси симметрии вагона) является движущей. Вращающий момент от тягового двигателя, подвешенного к кузову вагона, передается на редуктор движущей оси карданным валом (как у поездов Pendolino).

Коммерческая эксплуатация подвижного состава, пригодного для перехода с одной колеи на другую (правда, для скорости до 90 км/ч), осуществляется также в Польше.

Опытный высокоскоростной поезд, способный переходить с нормальной колеи на узкую и обратно, построен в Японии.

При различиях в деталях тех или иных конструкций механизмов, способов изменения расстояния между колесами на оси колесной пары, в большинстве случаев ис-

пользованы общие базовые принципы, которые можно свести к следующему.

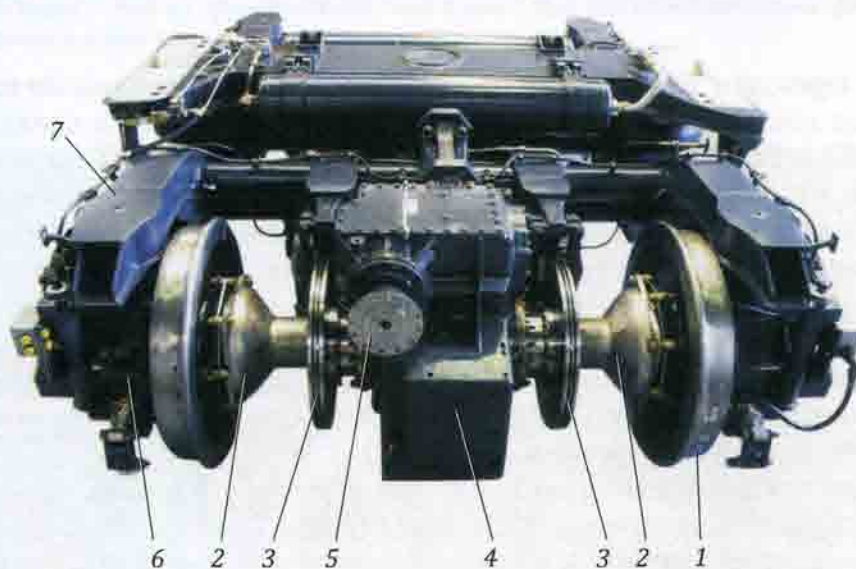
Колеса размещаются на оси (или полуосях) колесной пары так, чтобы сохранялась возможность перемещаться — сближаться или удаляться друг от друга, устанавливаясь на требуемую ширину колеи. В нужном для данной колеи положении колеса фиксируются и надежно удерживаются на оси с помощью замков (фиксаторов).

При переходе с одной колеи на другую поезд (прицепные вагоны, моторные вагоны или вагоны и локомотив, в том случае, если локомотив также оборудован изменяющими положение колесными парами) проходит через специальные устройства со скоростью от 7 до 30 км/ч (в разных конструкциях). Движение поезда при этом осуществляется собственной тягой или вспомогательным локомотивом. В большинстве конструкций при движении непосредственно по устройству перехода с одной колеи на другую с колесных пар постепенно снимается нагрузка и они продвигаются, не соприкасаясь с рельсами. Специальное устройство воздействует на замки (фиксаторы), снимая блокировку положения колес на оси. При дальнейшем

a



б



в



Рис. 13.87. Высокоскоростной электропоезд серии 120/121 «Серия» компании CAF/Alstom: а — общий вид; б — вид тележки со стороны движущей колесной пары; в — вид тележки со стороны поддерживающей колесной пары: 1 — разрезная колесная пара; 2 — кожух, прикрывающий подвижную часть оси колесной пары; 3 — тормозной диск; 4 — осевой редуктор; 5 — фланец входного вала; 6 — механизм перевода и блокировки подвижных элементов оси при переходе с одной колеи на другую; 7 — рама тележки. 2005 г.

продвижении через устройство колеса устанавливаются направляющими шинами в новое положение на оси, соответствующее колее, на которую переводится поезд. Колеса фиксируются в этом положении замками (фиксаторами) и входят на новую колею, вновь принимая на себя нагрузку от вагона или локомотива.

Одноосные тележки Talgo с отдельным креплением колес на полуосях оказались весьма удобной конструкцией, позволившей получить в результате новое устройство, обеспечивающее переход подвижного состава с одной колеи на другую. Позже были предложены варианты конструкций, приближающихся по своему виду к обычным колесным парам с цельной осью. В качестве примера рассмотрим устройство для перехода с одной колеи на другую локомотивов или вагонов типа Talgo (рис. 13.88, 13.89). Переход подвижного состава с одной колеи на другую включает пять фаз:

1. При вступлении подвижного состава на устройство перевода с одной колеи на другую рамы тележек локомотивов или вагонов своими опорами скольжения (3) надвигаются на поднимающие балки (2), высота которых плавно увеличивается. Нагрузка от локомотива или вагона постепенно переходит на опоры скольжения, колеса поднимаются над рельсами (в данном примере широкой колеи). В качестве смазки под опоры скольжения тележек на верхнюю грань поднимающей балки подается вода из форсунок (10).

2. Замки-фиксаторы (4) колес, по мере продвижения локомотива или вагона, входят в зацепление с Т-образными шинами (5) и опускаются. Это приводит к разблокированию относительно оси колес, находящихся на позиции, соответствующей ширине той колеи, по которой они двигались ранее. У каждого колеса вагона имеется два замка-фиксатора, у колес локомотивов — по одному. На устройстве перевода подвижного состава с одной колеи на другую установлены четыре Т-образных шины для управления замками-фиксаторами колес вагонов, при проходе локомотивов из них используются две.

3. Разблокированные и вывешенные колеса вступают в боковой контакт с направляющими балками (6), которые передвигают их на новую позицию, соответствующую колее, на которую переходит подвижной состав.

4. Замки-фиксаторы колес под воздействием Т-образных шин возвращаются в верхнее положение и, тем самым, блокируют колеса относительно оси в новой позиции, соответствующей ширине колеи, на которую переходит подвижной состав.

5. По мере скольжения опор рам тележек по понижающимся участкам направляющих балок (2) колеса постепенно опускаются и встают на рельсы (в данном примере узкой колеи). Переход колесной пары на другую колею закончен. Подобным же образом происходит переход с узкой колеи на широкую.

Устройства для перевода с одной колеи на другую подвижного состава компании CAF похожи по принципу действия на устройства Talgo, но они не взаимозаменяемы (рис. 13.90).

В последние годы для того, чтобы обеспечить пропуск с одной колеи на другую подвижного состава Talgo и CAF, обращающихся по одному маршруту, стали устраивать совмещенные устройства пропуска, в которых с помощью подъемных платформ может быть поочередно установлено необходимое оборудование. В настоящее время в Испании на ряде пунктов пропуска подвижного состава с одной колеи на другую используют переходные универсальные устройства последнего поколения типа TCRS, которые могут по команде оператора изменять свою конфигурацию и пропускать как поезда Talgo, так и CAF. В этих устройствах с помощью нескольких гидроцилиндров поднимаются или опускаются соответствующие направляющие шины, штанги и другие элементы. В 2010 г. в Испании действовало 20 пунктов перехода с одной колеи на другую на высокоскоростных линиях и 75 пунктов на обычных железных дорогах.

На электрифицированных участках контактная сеть подводится с двух сторон к

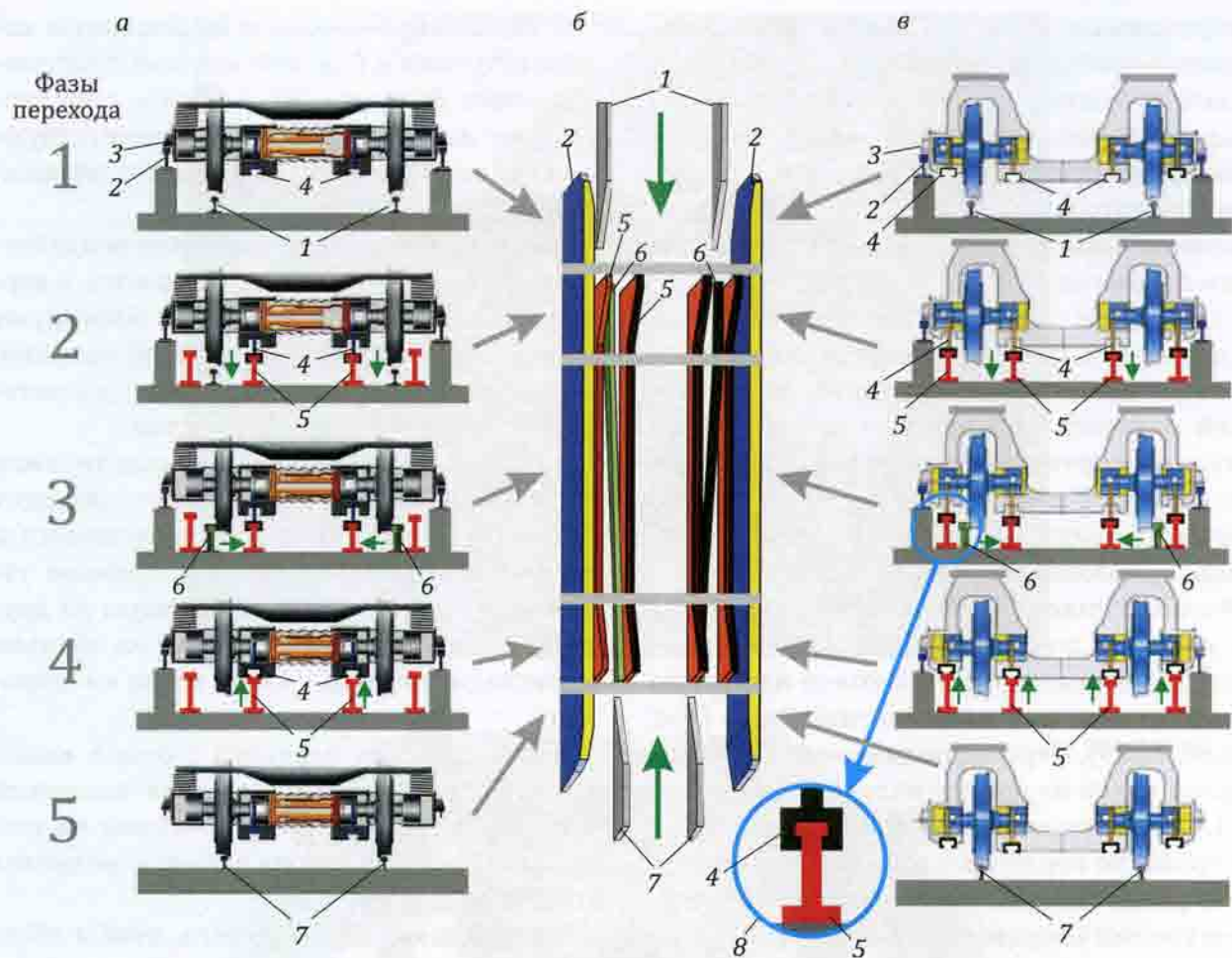


Рис. 13.88. Устройство для перехода подвижного состава типа Talgo с одной колеи на другую: а — схематическое изображение поперечного разреза тележки локомотива Talgo; б — схематическое изображение устройства для перехода с одной колеи на другую; в — схематическое изображение поперечного разреза тележки вагона Talgo Pendular; г — общий вид установки: 1 — рельсы широкой колеи; 2 — поднимающие балки; 3 — опоры скольжения рам тележек; 4 — замки-фиксаторы колес; 5 — Т-образные шины; 6 — направляющие балки; 7 — рельсы узкой колеи; 8 — увеличенное схематическое изображение, показывающее взаимодействие замка-фиксатора с Т-образной шиной; 9 — контр-рельсы входной/выходной частей переходного устройства; 10 — форсунки подачи воды для смазки



Рис. 13.89. Общий вид устройства для перехода с одной колеи на другую компании Talgo в момент пропуска по нему тепловоза



Рис. 13.90. Общий вид устройств для перехода с одной колеи на другую компании Talgo (слева) и компании CAF. Испания

зданию, где расположено устройство для перехода с одной колеи на другую. Непосредственно над самим устройством контактная сеть отсутствует. Электропоезда Talgo имеют два электровоза, расположенных по концам состава. При прохождении устройства перехода с одной колеи на другую последовательно отключается от контактной сети (опускается токоприемник) вначале головного электровоза, и поезд приводится в движение вторым локомотивом, а затем подключается к сети головной электровоз и его тягой осуществляется движение при отключенном локомотиве, расположенном в хвосте состава. Электропоезда компании CAF имеют несколько моторных вагонов, при проходе по устройству перехода с одной колеи на другую моторные ваго-

ны поочередно отключаются и подключаются к контактной сети.

Японские железнодорожные компании, так же как и испанские, поставили цель: ввести в ближайшие годы в эксплуатацию высокоскоростные электропоезда, способные переходить с нормальной колеи ВСМ (1435 мм) на узкую (1067 мм) и обратно, при этом иметь конструкционную скорость движения, сопоставимую с находящимися в эксплуатации высокоскоростными поездами — не менее 270 км/ч по ВСМ (1435 мм) и 130 км/ч по дорогам узкой колеи (1067 мм).

Разработка такого электропоезда началась в 1997 г. Научно-исследовательским институтом железнодорожной техники Японии. В 2002 г. 12 крупных железнодорожных компаний-операторов, машиностроитель-

ных, электротехнических и других компаний образовали консорциум «Gauge Change Train» — GCT («Поезд изменяемой колеи»).

Первый опытный поезд GCT, состоящий из трех моторных вагонов (двух концевых и одного промежуточного), был изготовлен в октябре 1998 г. Он имеет габарит обычных вагонов для узкоколейных железных дорог Японии. В 1999—2001 гг. поезд прошел испытания в США на полигоне в г. Пуэбло (рис. 13.91), во время которых развил максимальную скорость 246 км/ч. Во время опытных поездок был осуществлен пробег более 600 тыс. км, поезд свыше 2 тыс.

раз совершил переход через стационарное устройство с одной колеи на другую. Затем до 2006 г. поезд испытывался в Японии на узкоколейных железных дорогах и на ВСМ.

Вагоны поезда оснащены двумя типами тележек: так называемый тип «А» с прямым приводом от синхронного двигателя и тип «В» — с асинхронным двигателем и редуктором. В тележках типа «А» внешний ротор синхронного тягового двигателя с возбуждением от постоянных магнитов непосредственно прикреплен к колесу колесной пары, образуя колесно-моторный блок (рис. 13.92, 13.93), а статор, находящийся внутри ротора, насажен на неподвижную



Рис. 13.91. Первый опытный японский поезд GCT на испытаниях в Центре транспортных технологий в Пуэбло, штат Колорадо, США. 2000 г.



Рис. 13.92. Поезд GCT: тележка типа «А» (вид снизу). Япония. 2008 г.

Рис. 13.93. Колесно-моторный блок тележки типа «А» (показано одно колесо): 1 — буксовые подшипники; 2 — колесо; 3 — внешний ротор тягового двигателя, 4 — неподвижная ось колесной пары; 5 — стопорный механизм, фиксирующий положение колеса на оси

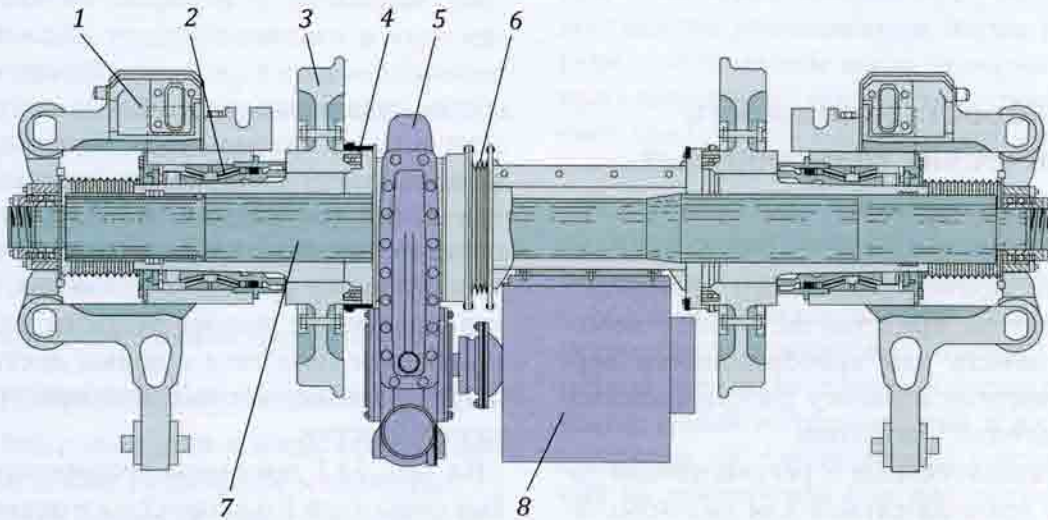
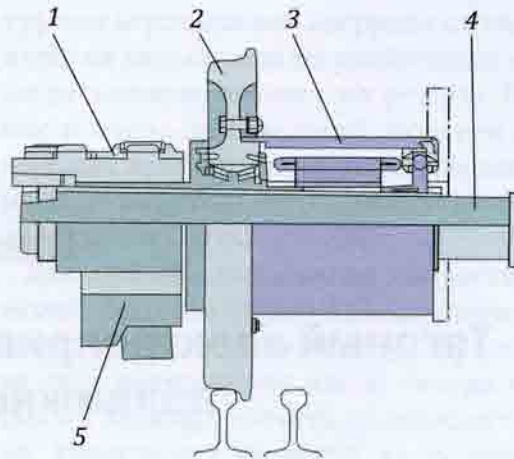


Рис. 13.94. Колесная пара тележки типа «В» (вид сверху): 1 — стопорный механизм фиксации положения колеса на оси; 2 — буксовый подшипник; 3 — колесо; 4 — подвижная муфта и карданный вал передачи вращающего момента от редуктора к оси; 5 — редуктор; 6 — защитный кожух в виде резиновой гармошки; 7 — ось колесной пары; 8 — тяговый двигатель

ось колесной пары. На нее с помощью конических подшипников также насажены и колеса (рис. 13.93).

Переход тележки с колеи одной ширины на колею другой ширины осуществляется с помощью устройства, в котором, как в системах Talgo или CAF, происходит разгрузка колесной пары, деблокируются колеса на оси, переводятся в новое положение и блокируются в этом положении.

В тележках типа «В» (рис. 13.94) крутящий момент от асинхронного двигателя, подвешенного на раме тележки, передается на ось через муфту и карданный вал. Колеса насажены на ось, имеющую длинные промежуточные шлицевые втулки, и вра-

щаются вместе с ней. Колесные пары напоминают обычные, но имеют возможность двигаться по шлицам оси и фиксируются в положении, соответствующем ширине той или иной колеи. Переход с колеи одной ширины на колею другой осуществляется по такому же устройству, как и для тележки типа «А».

В 2006 г. в Японии был изготовлен и передан на испытания второй опытный поезд такой же конфигурации, как и первый, но с промежуточным вагоном, имеющим устройство для наклона кузова. В 2009 г. на одной из ВСМ поезд развил скорость 270 км/ч. Испытания поезда с новыми тележками облегченной конструкции продолжаются.

Глава 14

Тяговый электропривод высокоскоростного подвижного состава

14.1. Скорость и мощность электрических транспортных средств

Тяговый привод рельсового транспортного средства представляет собой комплекс устройств для преобразования первичной энергии в работу по преодолению сопротивления движению.

Преобразовательные и регулирующие устройства привода служат для видоизменения электрической энергии, получаемой тя-

говым подвижным составом из контактной сети или от автономного первичного источника энергии. Преобразованный электрический ток должен отвечать принятому типу тягового электродвигателя, соответствующему уровню напряжения, частоте и направлению потока энергии, заданной скорости и силе тяги с целью достижения рациональных тяговых и энергетических характеристик.

На рис. 14.1 показаны графические кривые силы тяги F и скорости v в относительных значениях. С повышением скорости

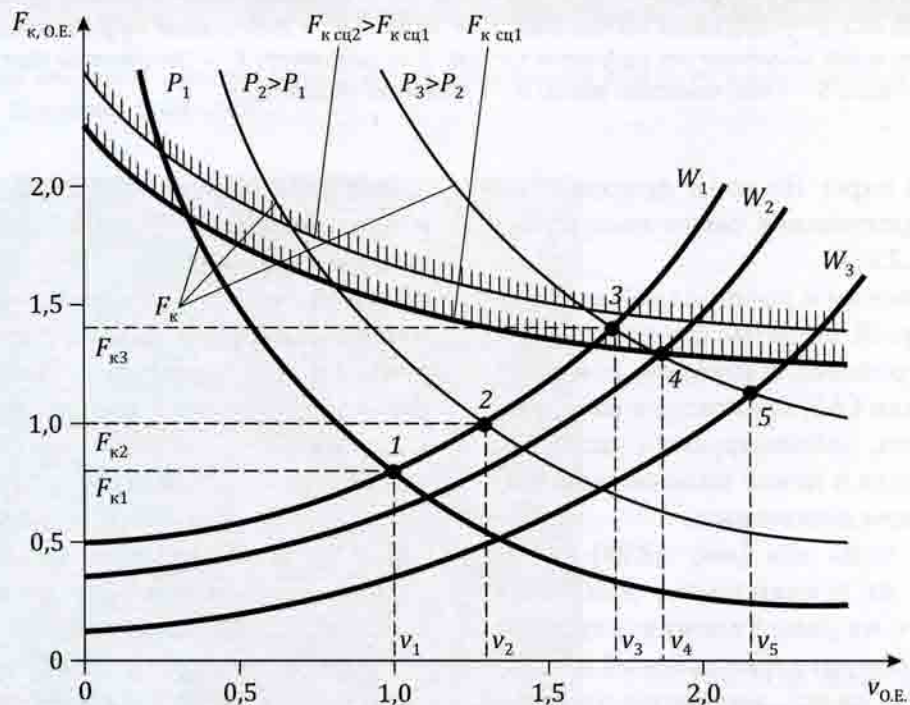


Рис. 14.1. Графическое отображение условий реализации повышенной скорости движения

движения тягового подвижного состава сила сцепления $F_{\text{к сц}}$ колеса с рельсом уменьшается. Если при низкой скорости v коэффициент сцепления $\psi_{\text{сц}} = 0,3—0,35$, то при $v = 200—250$ км/ч его значение снижается до 0,15 и менее. Сила сопротивления движению W , зависящая от основного удельного сопротивления w_0 и массы поезда $m_{\text{п}}$ увеличивается пропорционально степенной зависимости от скорости v вследствие увеличения аэродинамического сопротивления, а сила тяги $F_{\text{к}}$ при заданной мощности P тяговых двигателей уменьшается обратно пропорционально скорости v . Уравнение движения поезда, представленного в виде сосредоточенной массы $m_{\text{п}}$, в соответствии со вторым законом Ньютона имеет вид:

$$F_{\text{к}} - W = \pm m_{\text{п}} \frac{dv}{dt}, \quad (14.1)$$

где $\frac{dv}{dt}$ — ускорение (замедление) движения поезда.

Из этого соотношения следует, что в режиме установившейся скорости $\frac{dv}{dt} = 0$ $F_{\text{к}} = W$. Например, для поезда, оснащенного двигателями суммарной мощностью P_1 и имеющего сопротивление движению W_1 , режим равновесного состояния для скорости v_1 будет соответствовать *точке 1* (см. *рис. 14.1*).

Рассмотрим увеличение скорости до значения v_2 для поезда той же массы. Это возможно за счет соответствующего повышения силы тяги до $F_{\text{к}2}$ в *точке 2*, что достигается увеличением мощности, реализуемой тяговыми двигателями, до P_2 . Дальнейшее повышение скорости до v_3 при сопротивлении W_1 можно обеспечить при мощности P_3 . Однако равновесного состояния в *точке 3* может и не наступить из-за ограничения по силе сцепления $F_{\text{к сц}1}$ движущих колес с рельсами. Обеспечение необходимой силы тяги $F_{\text{к}3}$ (в *точке 3*) возможно при условии, если масса поезда, приходящаяся на моторные (движущие) оси m_3 , будет увеличена. Это может быть достигнуто за счет увеличения доли моторных осей (например, переход от локомотивного варианта поезда к моторвагонному вариан-

ту) при ограничении нагрузки от колесной пары на рельсы или же увеличении нагрузки от движущих колес на рельсы. Последнее условие при высокой скорости движения, как правило, является неприемлемым из-за отрицательного динамического воздействия на путь.

Дальнейшее повышение скорости до v_4 может быть получено при снижении силы сопротивления движению до W_2 (*точка 4*) за счет уменьшения массы поезда и улучшения ходовых качеств подвижного состава. Увеличение скорости до v_5 (*точка 5*) при сохранении мощности P_3 может быть достигнуто уменьшением массы поезда и (или) увеличением числа моторных осей, а при повышенной мощности против P_3 — за счет увеличения массы, приходящейся на моторные оси.

Таким образом, максимальная скорость на линии скоростного (высокоскоростного) движения непосредственно увязывается с основными техническими параметрами скоростного подвижного состава: общей массой поезда, мощностью тяговых двигателей; долей моторных осей и их распределением по длине поезда (сосредоточение на локомотиве или распределение по моторным вагонам, т.е. сосредоточенный (централизованный) или распределенный тип тягового обеспечения); вместимостью вагонов; сопротивлением движению поезда, в том числе связанным и с аэродинамическими характеристиками, которые были подробно рассмотрены в п. 13.1. Особенно важен их учет для высокоскоростного подвижного состава, поскольку, как известно, сопротивление воздуха движущемуся телу возрастает пропорционально квадрату скорости. Так, если при скорости 100 км/ч оно составляет около 35 % общего сопротивления движению, то при скорости 200 км/ч — уже около 70 %, а при 300 км/ч — свыше 90 %.

Учитывая все вышеизложенное номинальную силу тяги $F_{\text{кн}}$ выбирают, исходя из проведенных расчетов, с некоторым запасом по сцеплению (например, *точка 2* на *рис. 14.1*); при заданной силе тяги $F_{\text{кн}} = F_{\text{к}2}$ тяговая мощность $P_{\text{тн}}$ двигателя (на ободе колеса) определяется заданной расчетной

скоростью движения $v_n = v_2$. При этом номинальная мощность двигателя равна

$$P_n = \frac{P_{тн}}{\eta_3} = 0,278 F_{кн} \frac{v_n}{\eta_3}, \quad (14.2)$$

где η_3 — КПД зубчатой передачи (примерно равный 0,975); 0,278 — коэффициент связи между силой тяги (кН), скоростью (км/ч) и мощностью (кВт).

Для локомотивов пассажирских поездов расчетную мощность выбирают, исходя из обеспечения среднетехнической скорости на участке определенной длины. Для пригородных электропоездов (распределенная тяга) эта мощность составляет 200—250 кВт, для междугородных скоростных электропоездов — 650 кВт, а для скоростных и высокоскоростных пассажирских локомотивов (сосредоточенная тяга) достигает 1200 кВт на одну движущую колесную пару.

Максимальная частота вращения вала тягового двигателя, как правило, не превышает 3000 об/мин из-за ограничения по работоспособности роликовых подшипников средней и тяжелой серий с консистентной смазкой. Для высокоскоростного подвижного состава максимальная частота вращения вала современных асинхронных двигателей достигает 4100 об/мин, что обуславливает необходимость применения подшипников новой серии.

Передача тягового момента на колесную пару сопровождается возникновением статической (полезной) составляющей силы. В процессе движения локомотива кроме статической составляющей появляется динамическая (вредная) составляющая, обусловленная недостатками способа регулирования мощности двигателя, кинематическим несовершенством схемы или конструкции тяговой передачи и рядом других причин. Динамическая составляющая нагрузки существенно возрастает с увеличением скорости. К вредным нужно отнести также динамические нагрузки, вызываемые переменными ускорениями корпуса тягового двигателя и редуктора. Основной причиной появления высоких динамических усилий, действующих на тяговый дви-

гатель и редуктор, является взаимодействие ходовых частей локомотива и верхнего строения пути.

По критериям защищенности тягового двигателя от действия динамических сил выделяют системы привода с опорой тягового двигателя на ось колесной пары (опорно-осевой) и с опорой на подрессоренную часть тележки или кузова (опорно-рамный). По степени защищенности редуктора от воздействия динамических сил также различают редуктор, опирающийся на ось колесной пары (опорно-осевой) или установленный на раму тележки (опорно-рамный). По степени защищенности кинематической цепи от динамических моментов передачи выделяют три существенных признака: наличие опорно-осевых редукторов; горизонтальная или негоризонтальная модификация реализации тяги; степень приближения к единице передаточного числа от зубчатого колеса к шестерне.

По условию относительных угловых перемещений шарнирных элементов муфт (относится только к опорно-рамным приводам) различают две группы: первая — механизмы, в которых элементы шарнирного соединения ведущего вала с промежуточным звеном и звена с ведомым валом расположены в одной плоскости; вторая — механизмы, в которых шарнирное соединение ведущего вала и промежуточного звена расположено в одной плоскости, а промежуточного звена и ведомого вала — в другой.

По степени динамического совершенства все тяговые приводы принято подразделять на три класса: первый — с опорно-осевыми двигателями и редукторами; второй — с опорно-рамными двигателями и опорно-осевыми редукторами; третий — с опорно-рамными двигателями и редукторами. На скоростном и высокоскоростном подвижном составе используются тяговые приводы третьего и второго классов.

На рис. 14.2 показаны кинематические схемы, применяемые при различных компоновках тяговых приводов с опорно-рамным двигателем и опорно-осевым (класс II) или опорно-рамным (класс III) редуктором.

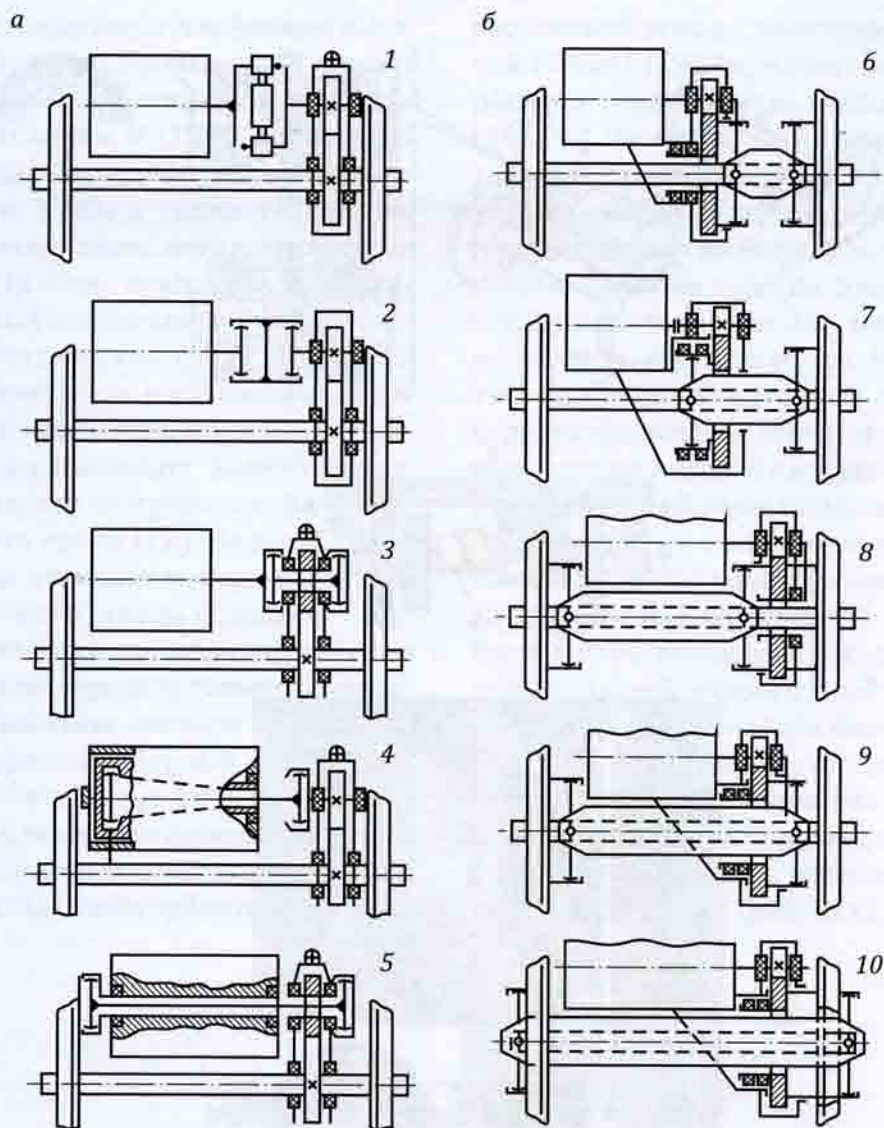


Рис. 14.2. Кинематические схемы передачи при различных компоновках тяговых приводов: а — с опорно-рамным двигателем и опорно-осевым редуктором; б — с опорно-рамным двигателем и редуктором; 1 — схема первой группы с шарнирной муфтой поперечной компенсации; 2, 3 — схемы второй группы с шарнирной муфтой и коротким промежуточным валом; 4, 5 — схемы второй группы с шарнирной муфтой, длинным промежуточным валом; 6 — схема второй группы с шарнирной муфтой в полой оси вала тягового двигателя и с полым валом на оси колесной пары; 7, 8 — схемы второй группы с шарнирной муфтой с удлиненным полым валом на оси колесной пары; 9, 10 — схемы второй группы с шарнирной муфтой и длинным полым валом на оси колесной пары

В качестве примеров рассмотрим две кинематические схемы. Одна из них используется на многих высокоскоростных поездах японских Синкансэн, на германских поездах ICE3 (платформа «Velaro»), а вторая — на электровозах французских высокоскоростных поездов TGV, в том числе и тех, которыми были установлены мировые рекорды скорости: на опытных поездах TGV A №325 и V150.

Обе приведенные для примера схемы относятся к тяговой передаче второго класса с опорно-рамным расположением двигателя и опорно-осевым редуктором (в некоторых случаях редуктор дополнительно опирается через эластичные резиновые амортизаторы на раму тележки). Такая техническая идея тяговой передачи (схематически представлена на рис. 14.3), хорошо себя зарекомендовала в различных вариантах конст-

руктивного исполнения. На японском высокоскоростном электроподвижном составе со времен первых японских высокоскоростных поездов серии 0 (1964 г.), включая японские поезда последнего поколения, например, серии N700, а также на германских высокоскоростных поездах платформы «Velaro» (к ним относятся и поезда «Сапсан», эксплуатируемые в России) подвижная кинематическая связь вала тягового электродвигателя и входного вала редуктора обеспечивается с помощью зубчатой муфты (она позволяет элементам вала как отклоняться от продольной оси, так и перемещаться вдоль оси). На рис. 14.4 показана тяговая передача моторного вагона высокоскоростного поезда «Сапсан».

В качестве второго примера рассмотрим кинематическую передачу тягового привода высокоскоростных поездов TGV компании Alstom, Франция. Первый поезд этого типа создавался в конце 1960-х — начале 1970-х годов. Для оценки работоспособности отдельных узлов и агрегатов были построены опытный газотурбинный высоко-

скоростной поезд с электрической передачей TGV 001 (1969 г.) и опытный высокоскоростной электровагон «Zebulon» (Z 7001) (1974 г.). На поезде TGV 001 использовался тяговый привод третьего класса с муфтой типа Жакмен. По результатам испытаний поезда сделали вывод о том, что для повышения критической (по влиянию) скорости движения (более 300 км/ч) необходимо снизить массу тележки. В связи с этим тяговый двигатель (массой около 1400 кг) и редуктор первой ступени перенесли на раму кузова локомотива (рис. 13.42 и 14.5), на оси колесной пары разместили редуктор второй ступени с опорно-осевым подвешиванием. В целом конструкция привода стала сложнее и, с инженерной точки зрения была шагом назад, так как являлась тяговой передачей второго класса, тем не менее поставленная задача была решена. Эта конструкция тяговой передачи с сохранением основных технических решений несколько раз модернизировалась и используется до настоящего времени на локомотивах поездов TGV (рис. 13.42; 14.5).

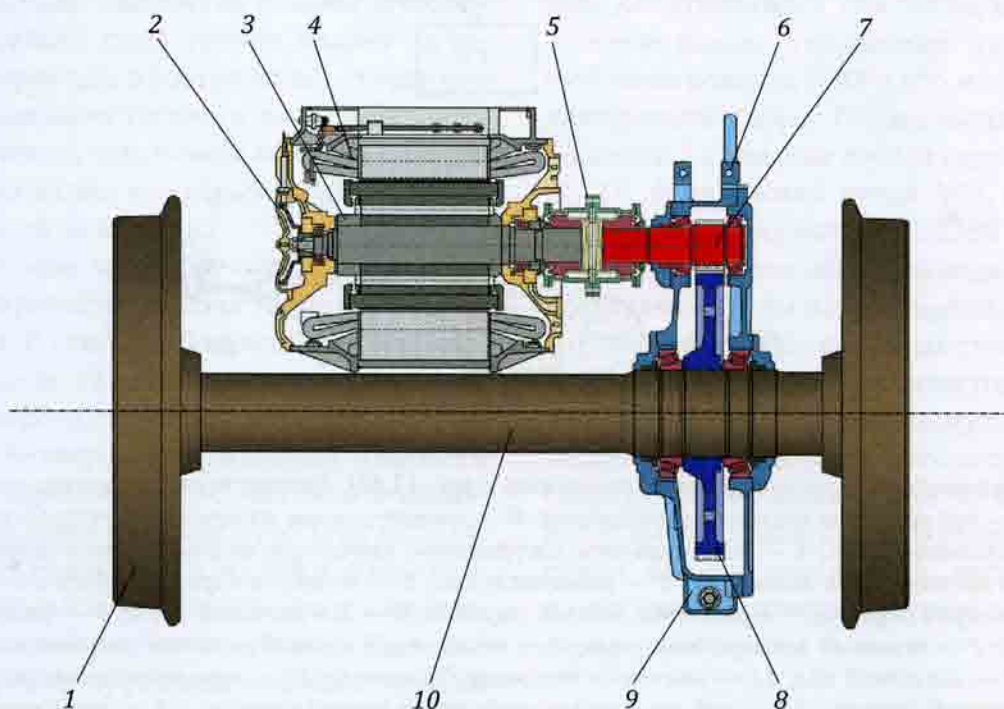


Рис. 14.4. Схематическое изображение тяговой передачи высокоскоростного поезда «Сапсан»: 1 — колесная пара; 2 — тяговый двигатель; 3 — ротор двигателя; 4 — статор двигателя; 5 — зубчатая муфта; 6 — элемент узла подвески редуктора; 7 — шестерня; 8 — большое зубчатое колесо; 9 — корпус редуктора; 10 — ось колесной пары (изображена упрощенно без шеек). Германия, 2009 г.

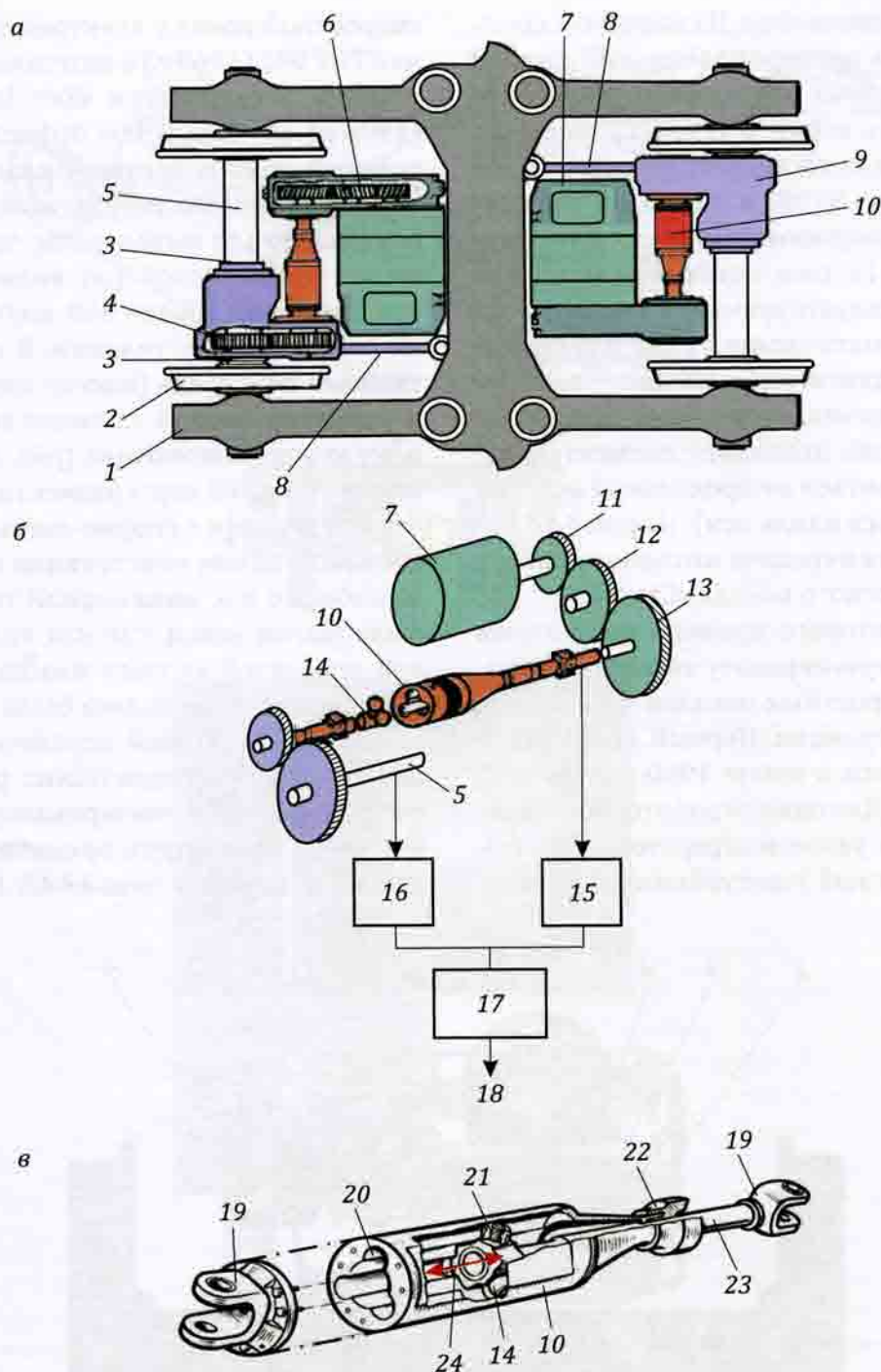


Рис. 14.5 (рекомендуется рассматривать совместно с рис. 13.42). Тяговая передача электровозов поездов TGV: а — вид сверху на тележку электровоза; б — схематическое изображение устройства передачи и компонентов ШРУС; в — схематическое изображение элементов шарнира Гука и разрез шлицевого вала со сферическими головками: 1 — рама тележки; 2 — колесная пара; 3 — подшипники опоры редуктора второй ступени; 4 — редуктор второй ступени; 5 — ось колесной пары; 6 — редуктор первой ступени; 7 — тяговый электродвигатель; 8 — реактивная тяга; 9 — кожух редуктора второй ступени; 10 — шлицевой вал; 11 — шестерня тягового двигателя; 12 — промежуточная шестерня редуктора первой ступени; 13 — зубчатое колесо редуктора первой ступени; 14 — сферические головки скользящей муфты; 15 — датчик частоты вращения выходного вала редуктора первой ступени; 16 — датчик частоты вращения колесной пары; 17 — устройство сравнения частоты вращения; 18 — аварийный сигнал неисправности ШРУС; 19 — вилки шарниров Гука; 20 — цилиндрические пазы; 21 — игольчатый подшипник; 22 — уплотнение; 23 — ведомый вал ШРУС со сферическими головками; 24 — направление продольного перемещения сферических головок

В передаче подвижная кинематическая связь между двумя ступенями осуществляется с помощью шарнира равных угловых скоростей (ШРУС). Его элементы — шарниры Гука и скользящая муфта с узлом в виде трех сферических (шарообразных) головок¹ (вращающихся на игольчатых подшипниках), входящих внутрь трех цилиндрических пазов шлицевого вала. В отличие от обычных шлицевых валов в этой конструкции при осевом перемещении реализуется трение качения. Сферические головки имеют возможность двигаться в осевом направлении по цилиндрическим пазам на расстояние ± 120 мм, а шарниры Гука позволяют отклоняться элементам вала от продольной оси. В результате колесная пара электровоза с редуктором на оси может перемещаться относительно тягового двигателя. Датчики скорости постоянно передают в устройство сравнения частоты вращения на входе и выходе ШРУС. Их несоответствие говорит о неисправности, и аварийный сигнал поступает в компьютер управления поездом.

Конструкция элементов кинематической цепи передачи существенно влияет на габариты привода, пространство, отводимое для размещения тягового электродвигателя на тележке, что, в свою очередь, определяет требования к тяговым двигателям по их удельной мощности.

Абсолютные значения отдельных размеров для приводов разных типов могут различаться. В схемах с большей длиной промежуточного вала соответственно меньше углы поворота шарниров, а, следовательно, они (по четвертому критерию) являются более совершенными. Сочетание большого расхождения центров муфт (так называемая «расцентровка») с малой длиной промежуточных элементов приводит к неудовлетворительным результатам. Большие расцентровки муфт свойственны приводам с опорно-рамными двигателями и опорно-

осевыми редукторами с горизонтальными реактивными тягами.

По типу тягового электропривода подвижной состав можно разделить на четыре поколения (рис. 14.6). К первому поколению относятся локомотивы и моторвагонные подвижные единицы, разработанные до 1970 г. Второе поколение — подвижной состав, построенный после 1970 г., имеющих коллекторные двигатели и полупроводниковые преобразователи. Третье и четвертое поколения подвижного состава представлены новыми разработками, осуществленными в основном после 1985 г., с бесколлекторными тяговыми двигателями, преимущественно асинхронными двигателями трехфазного тока с короткозамкнутым ротором. В тяговых преобразователях подвижного состава третьего поколения используют однооперационные тиристоры, как правило, с принудительной конденсаторной коммутацией.

К четвертому поколению высокоскоростного подвижного состава относятся разработки, осуществленные в конце XX—начале XXI столетия, в том числе, высокоскоростные поезда: германский многосистемный электропоезд ICE3 и его модификация для железных дорог России поезд VelaroRus («Сапсан»), японские поезда серии 500, 700, E5, E6, французский поезд AGV, испанский поезд «Avril», китайский CHR380 и др. Преобразователи этих образцов подвижного состава разработаны на базе мощных полупроводниковых приборов новых типов: IGCT—тиристоры и IGBT—транзисторы², коммутируемых по управляющему электроду с заданием оптимальных алгоритмов с многократным переключением за период изменения питающего напряжения от цифровых блоков управления, выполненных на логических программируемых контроллерах.

¹ В англоязычной литературе этот узел именуют tripod (англ.: треножник), в некоторых русских изданиях этот узел также называют триподом.

² От англ. Integrated Gate Commutated Thyristor (IGCT) — запираемый тиристор с полевым управлением; от англ. Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) — биполярный транзистор с изолированным затвором.

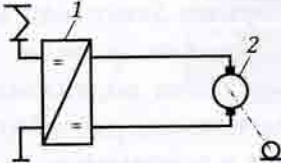
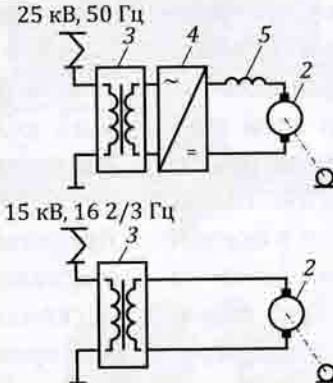
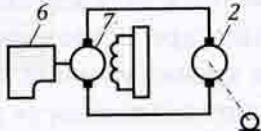
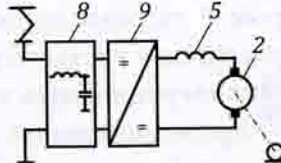
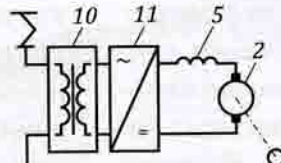
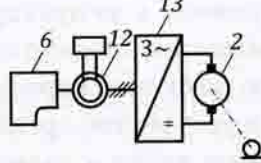
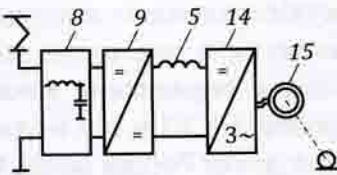
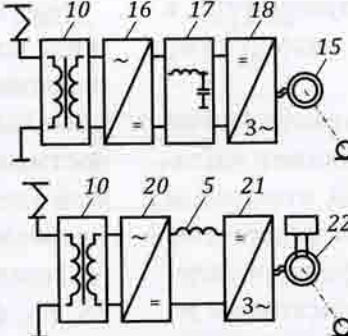
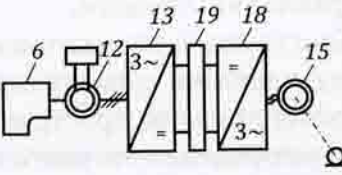
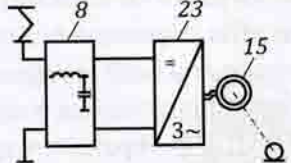
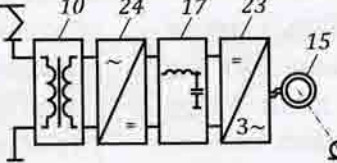
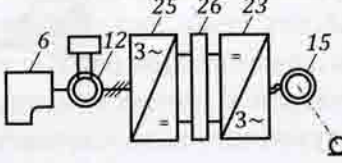
Поколение	Виды тягового подвижного состава		
	неавтономный		автономный
	электроподвижной состав постоянного тока (1,5 кВ; 3 кВ)	электроподвижной состав переменного тока (25 кВ, 50 Гц; 25 кВ, 60 Гц; 15 кВ, 16 2/3 Гц)	газотурбовозы, тепловозы, дизель-поезда
1			
2			
3			
4			

Рис. 14.6. Классификация электроподвижного состава по типу тягового электропривода: 1 — релостатный контроллер; 2 — коллекторный тяговый двигатель; 3 — тяговый трансформатор с переключаемой обмоткой; 4 — контроллер переключения числа витков трансформатора и диодный выпрямитель; 5 — сглаживающий реактор; 6 — дизель или газовая турбина; 7 — генератор постоянного тока независимого возбуждения; 8 — сетевой LC-фильтр (возможно активный); 9 — импульсный преобразователь постоянного тока; 10 — тяговый трансформатор; 11 — управляемый выпрямитель; 12 — синхронный генератор; 13 — диодный неуправляемый выпрямитель; 14 — автономный инвертор тока (АИТ); 15 — тяговый асинхронный двигатель; 16 — управляемый выпрямитель или четырехквадрантный преобразователь (4qS); 17 — звено постоянного тока с LC-фильтром (для АИН); 18 — автономный инвертор напряжения (АИН); 19 — звено постоянного тока с конденсаторным фильтром; 20 — управляемый выпрямитель; 21 — АИТ; 22 — тяговый синхронный двигатель; 23 — АИН с ШИМ (широтно-импульсной модуляцией) на запираемых тиристорах или IGBT-транзисторах, либо на IGCT-тиристорах; 24 — выпрямитель (4qS) на GTO-тиристорах, IGBT-транзисторах или IGCT-тиристорах; 25 — неуправляемый выпрямитель; 26 — звено постоянного тока

Основные данные электротяговых приводов, используемых в скоростном и высокоскоростном подвижном составе, приведены в Приложении 4.

14.2. Требования к электрическому приводу высокоскоростных поездов

Развитие электрической тяги сопровождалось повышением мощности локомотивов за счет увеличения числа движущих осей и единичной мощности тяговых двигателей. При конструкционной скорости 300—500 км/ч требуется примерно 14 кВт мощности тягового электропривода на одну тонну массы поезда. Такие показатели по удельной мощности электрического тягового привода трудно достижимы на основе коллекторных двигателей постоянного тока.

Практическое применение в электрической тяге двигателей переменного тока началось в Германии, Швеции и некоторых других странах. Первоначально были применены однофазные коллекторные двигатели пониженной частоты $16 \frac{2}{3}$ и 25 Гц. Принцип их работы аналогичен работе машин постоянного тока, но процессы коммутации в них тем сложнее, чем выше частота питающего тока. При стандартной частоте 50 Гц двигатели однофазного тока имеют низкие тяговые свойства и энергетические показатели.

Попытки применения на электроподвижном составе простейших по конструкции трехфазных асинхронных двигателей были предприняты в Германии, Италии и Швейцарии еще в конце XIX в. Для питания двигателей использовалась специальная контактная сеть трехфазного тока. Из-за сложности и недостаточной надежности такой конструкции и неудовлетворительных регулировочных свойств трехфазная система тягового электропривода не нашла широкого применения.

Для обеспечения допустимой нагрузки от одной оси высокоскоростного поезда на рельсы не более 180 кН и возможности снизить эту нагрузку до 100 кН и ниже удельная масса тягового двигателя не должна превышать 1,5—2,0 кг/кВт. Удельный объем тягового двигателя при размещении в стесненном пространстве экипажной части электроподвижного состава должен быть ограничен и не превышать 0,5—0,8 дм³/кВт. Максимальная допустимая частота вращения вала двигателя не должна быть ниже 3000 об/мин. Тяговый двигатель должен иметь механически прочную и защищенную от внешних воздействий конструкцию. Электрические потери в тяговом двигателе должны быть минимизированы. Отвод теплоты должен надежно обеспечиваться системой принудительного воздушного или, возможно, жидкостного охлаждения с приемлемыми для подвижной единицы параметрами.

В 20-е годы XX века исследования отечественных ученых и инженеров М.П. Костенко, А.Е. Алексеева и Б.Н. Тихменева показали, что проблема увеличения мощности электроподвижного состава и скорости его движения при одновременном повышении надежности может быть решена на основе перехода от коллекторных тяговых двигателей постоянного тока на бесколлекторные тяговые двигатели трехфазного тока — асинхронные и синхронные, питание которых должно осуществляться от специальных преобразователей числа фаз и частоты переменного тока.

Замена тяговых двигателей постоянного тока синхронными и асинхронными машинами с плавным регулированием частоты и напряжения трехфазного тока посредством электронных преобразователей явилось качественно новым направлением электрического локомотивостроения. Оно позволяет:

- поднять мощность на одну движущую ось до 1200 кВт и более при сохранении допустимой нагрузки на рельсы;
- увеличить коэффициент тяги (отношение силы тяги к силе давления от ко-

лесной пары) на 15—20 % путем электрического спаривания движущих осей;

- обеспечить не менее чем в два раза сокращение количества отказов работы локомотивов из-за выхода из строя тяговых двигателей;

- сократить на 10—15 % эксплуатационные расходы на содержание электрооборудования электроподвижного состава;

- уменьшить динамическое воздействие на экипаж и железнодорожный путь вследствие снижения массы двигателя на 30—40 %;

- снизить долю сложных и трудоемких работ по ремонту тяговых двигателей, высвободить часть рабочей силы и поднять общий уровень культуры технического обслуживания подвижного состава;

- перейти к созданию скоростного и высокоскоростного электроподвижного состава нового поколения.

Однако практическое применение бесколлекторных тяговых двигателей длительное время задерживалось тем, что не были созданы пригодные для коммерческого производства надежные экономичные преобразователи, способные преобразовывать полученную из контактной сети электрическую энергию в виде переменного тока (однофазного напряжением 15—25 кВ промышленной или пониженной частоты) или постоянного тока напряжением 1,5—3,0 кВ, в электроэнергию трехфазного тока регулируемой частоты, изменяемого по напряжению.

Для тягового электропривода применяются преобразователи электрической энергии различных видов: переменного-постоянного тока (выпрямители), постоянно-переменного тока (инверторы), переменного-переменного тока (преобразователи частоты и напряжения) и постоянно-постоянного тока (импульсные преобразователи). Преобразователи должны обеспечивать питание тяговых электродвигателей от контактной сети постоянного и однофазного переменного тока электроэнергией требуемых параметров по роду тока, уровню напряжения и частоте переменного тока. При питании тяговых асинхронных двигателей пре-

образователи должны не только преобразовывать род тока и уровень напряжения, но и обеспечивать плавное регулирование напряжения от единиц вольт до 1,5—3,0 кВ и частоты трехфазного тока от единиц до 100—150 Гц. Удельные показатели по массе (кг/кВт) и рабочему объему (дм³/кВт) не должны превышать аналогичные показатели тяговых двигателей.

14.3. Тяговые электрические двигатели

Первые опытные образцы тягового подвижного состава с бесколлекторными двигателями в СССР были созданы в 1965—1974 гг. Результатами работ инженеров и ученых явилось создание опытной пригородной электросекции переменного тока ЭР9А; маневрового тепловоза ВМЭ24А; магистрального тепловоза ТЭ120; электровозов ВЛ80А (с асинхронными) и ВЛ80В (с синхронными) двигателями. В те же годы в Германии были построены опытные локомотивы с асинхронными двигателями: тепловоз DE4000 и электровоз переменного тока Е120. Тогда же во Франции разрабатывался электроподвижной состав с синхронными двигателями. Эти пионерные работы заложили фундамент для развития в 80-е и 90-е годы XX столетия тягового подвижного состава третьего и четвертого поколений и способствовали практическому осуществлению программы скоростного и высокоскоростного движения в Европе.

Конструкция коллекторного двигателя постоянного тока. На рис. 14.7 приведены разрезы тягового двигателя электровозов серии ЧС2^Т (производства компании «Шкода», ЧССР) постоянного тока 3 кВ, которые на протяжении длительного времени были основным типом локомотивов, обслуживавших скоростные поезда на линии Ленинград—Москва Октябрьской железной дороги. Двигатели рассчитаны на номинальное напряжение 1,5 кВ, ток и мощность продолжительного режима, соот-

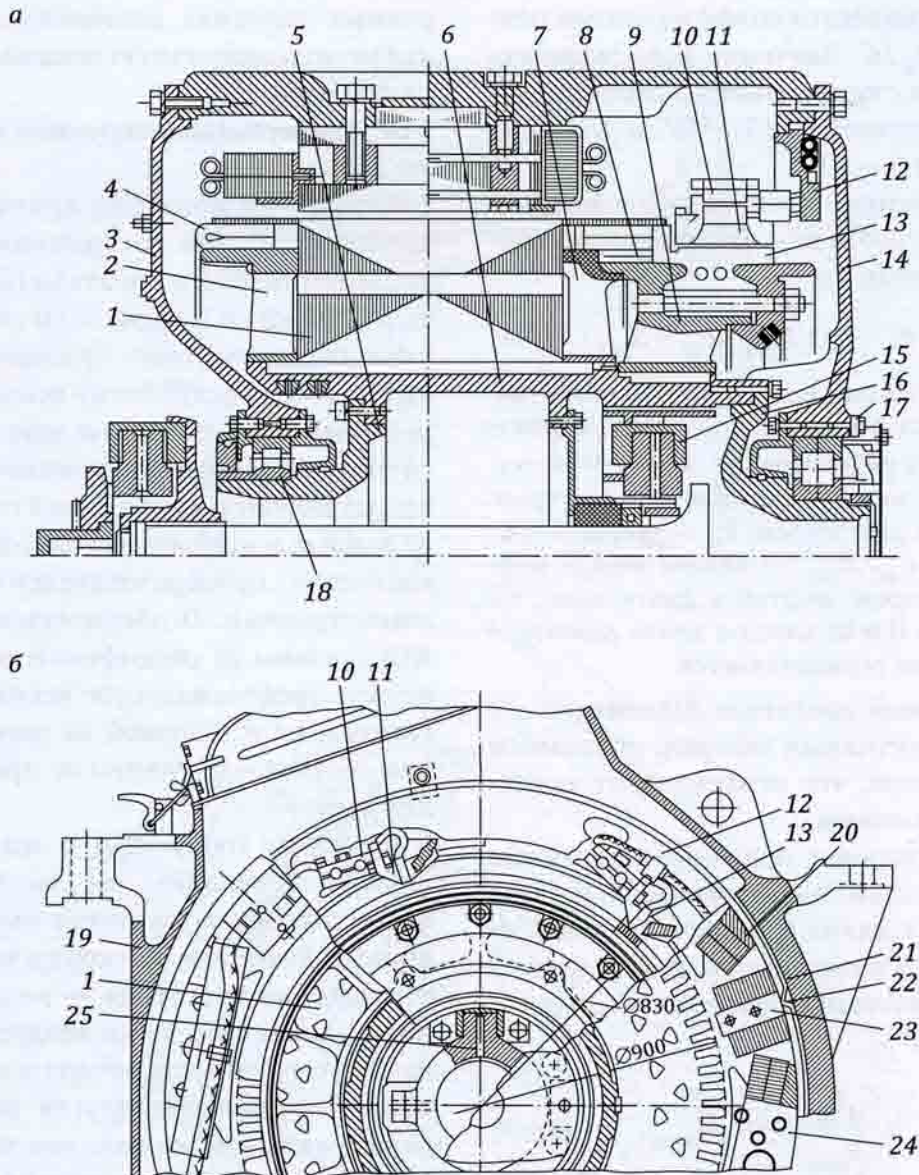


Рис. 14.7. Продольный (а) и поперечный (б) разрезы коллекторного электродвигателя (1 AL4846dT, $U_c = 3$ кВ; $I_\infty = 545$ А, $P_\infty = 770$ кВт): 1 — сердечник якоря; 2, 7 — нажимные шайбы; 3, 14 — подшипниковые щиты; 4 — обмотка полюсов; 5, 15 — передняя и задняя втулки коробки якоря; 6 — коробка якоря; 8 — уравниватель; 9 — коробка коллектора; 10 — кронштейн щеткодержателя; 11 — щеткодержатель; 12 — траверсы щеткодержателей; 13 — коллектор; 15 — шарнирная муфта привода; 17, 18 — якорные подшипники; 19 — остов; 20 — опора катушки; 21 — шихтованная вставка; 22 — пластмассовый клин; 23 — добавочный полюс; 24 — главный полюс; 25 — деталь крепления.

ветственно 545 А и 770 кВт; имеют опорно-рамное подвешивание с карданным валом и применяются в тяговой передаче класса II. При рамном подвешивании централь (расстояние от оси колесной пары до оси вала двигателя)

$$C = 0,5(D_{\text{я}} + d_0) + A + \delta + e, \quad (14.3)$$

где $D_{\text{я}}$ — диаметр якоря; d_0 — диаметр оси колесной пары; A — расстояние от внутренней поверхности полюса до наружной поверхности корпуса двигателя по линии централи; δ — воздушный зазор якоря; $e \approx 5-6$ мм — наибольшее горизонтальное перемещение оси колесной пары относительно рамы тележки.

Формула показывает, что централь сильно зависит от конструкции двигателя. Это

качество оценивается коэффициентом централи $k_c = D_y / C$. Значение коэффициента для передачи с карданным валом составляет для электровозов 1,15—1,25, а для электропоездов 1,1—1,18.

От конструкции тягового привода зависит длина тягового двигателя. Для рассматриваемого примера

$$l_d = l_k - (\Delta_1 + \Delta_2 + b_p + \Delta_{M1} + b_M + \Delta_{M2}), \quad (14.4)$$

где l_k — расстояние между внутренними гранями колесных бандажей; b_p — ширина кожуха или корпуса редуктора; Δ_1, Δ_2 — соответственно зазоры между бандажом и редуктором, редуктором и двигателем; b_M — ширина муфты привода; Δ_{M1}, Δ_{M2} — зазоры между муфтой и редуктором, муфтой и двигателем, т.е. для приводов II и III классов длина двигателя дополнительно ограничивается.

Коллекторный двигатель заполняется до 25 % конструктивным зазором, отводимым для коллектора, что ограничивает активный объем машины.

С другой стороны, основные проектные размеры якорей электрических машин: диаметр D_y и длина l_y зависят от вращающего момента в соответствии с требуемой тяговой характеристикой электроподвижного состава:

$$D_y^2 l_y = \frac{C_A P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = C_A M_{\text{ном}}, \quad (14.5)$$

где C_A — постоянная Арнольда, зависящая от технического уровня выполнения машины. С учетом всех особенностей предложена (П.А. Золоторевым) зависимость:

$$D_y^2 l_y = C_y k_v P_{\text{ном}}, \quad (14.6)$$

где $C_y = (0,14 - 0,2) 10^{-3}$ — постоянная технического уровня выполнения; k_v — коэффициент соотношения скоростей, $k_v = n_{\text{max}} / n_{\text{ном}} = v_{\text{max}} / v_{\text{ном}}$, обычно $k_v = 1,8 - 2,0$.

Из приведенных соотношений следует, что основные тяговые параметры: вращающий момент $M_{\text{ном}}$ и мощность $P_{\text{ном}}$ зависят от размеров D_y и l_y , которые можно вписать в пространство, отводимое в экипажной части локомотива. В асинхронной машине нет коллектора, поэтому при прочих

равных условиях возможно значительно увеличить единичную мощность тягового двигателя.

Особенности конструкции асинхронной машины.

На рис. 14.8 приведен пример конструктивного решения восьмиполусного асинхронного тягового двигателя (АТД) мощностью 1200 кВт и массой 3650 кг, предназначенного для тягового привода класса I. По внутреннему устройству асинхронные короткозамкнутые тяговые двигатели аналогичны обычным асинхронным машинам и представляют один из самых совершенных, надежных и компактных видов электромеханических преобразователей в электромашиностроении. Особенности конструкции АТД связаны со спецификой тягового привода, с требованиями к исполнению двигателей, их установкой на электроподвижном составе и питанием от преобразователей частоты.

Поскольку корпус АТД, в отличие от коллекторной машины, не выполняет роль магнитопровода, он может быть облегчен, и даже возможен бескорпусный вариант. Охлаждение двигателя — воздушное принудительное с осевыми воздушными каналами в сердечниках ротора и статора. Возможно применение других видов охлаждения, включая жидкостное и с помощью тепловых труб. Пазы статора выполнены прямоугольными, для уменьшения добавочных потерь от пульсаций индукции на поверхности ротора для пазов статора применяют магнитные клинья. Обмотка статора выполнена из проводников прямоугольного сечения, расположенных в пазу «плашмя» для снижения потерь в обмотках из-за эффекта вытеснения тока в проводнике. Обмотка ротора для двигателей до 300 кВт выполнена из алюминиевого сплава, которым заливают магнитопровод; в мощных машинах обмотка выполняется из меди, имеет специальный профиль в виде беличьей клетки, а также из предварительно опрессованных алюминиевых стержней.

При разработке конструкции обмотки ротора следует учитывать три фактора. Пер-

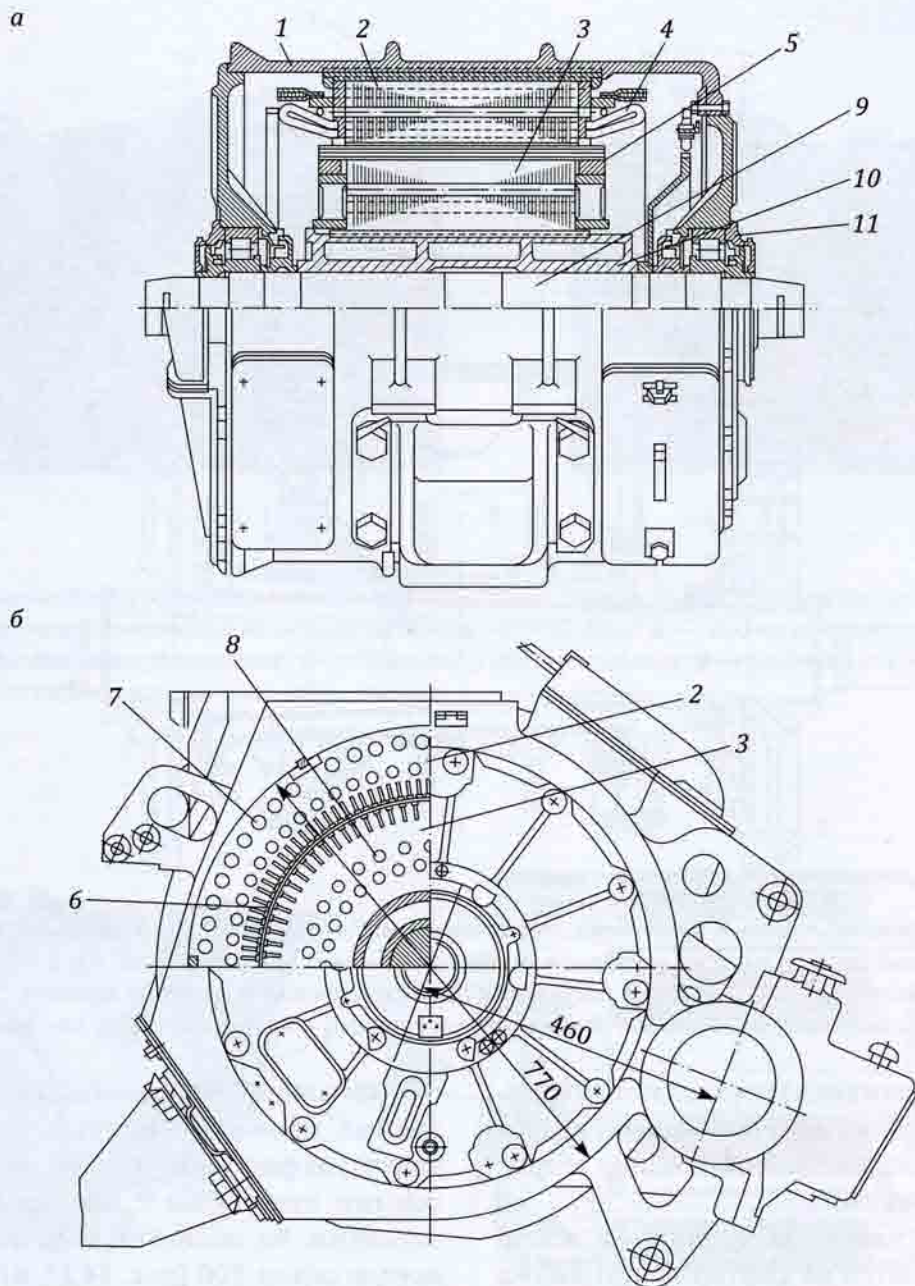


Рис. 14.8. Асинхронный тяговый двигатель НБ602, продольный (а) и поперечный (б) разрезы: 1 — ось; 2 — магнитопровод статора; 3 — магнитопровод ротора; 4 — обмотка статора; 5 — обмотка ротора с короткозамкнутыми кольцами; 6 — пазы статорной и роторной обмоток; 7, 8 — вентиляционные отверстия; 9 — вал двигателя; 10 — втулка ротора; 11 — подшипниковый щит

вый — при частотном регулировании нет надобности увеличивать сопротивление обмотки ротора или использовать эффект вытеснения тока для повышения пускового момента. Второй фактор — закрепление обмотки должно обеспечивать надежное крепление, допускающее длительную работу в условиях значительных перепадов температур (при температуре окружающе-

го воздуха минус 60 °С возможен быстрый нагрев стержней до 100—150 °С). Третий фактор — необходимость плотного прилегания стержней ротора к магнитопроводу для улучшения отвода теплоты.

Потери в обмотке ротора составляют около 15—20 % от всех потерь в АТД. Дополнительные потери от высших гармоник (обусловленных питанием от несинусои-

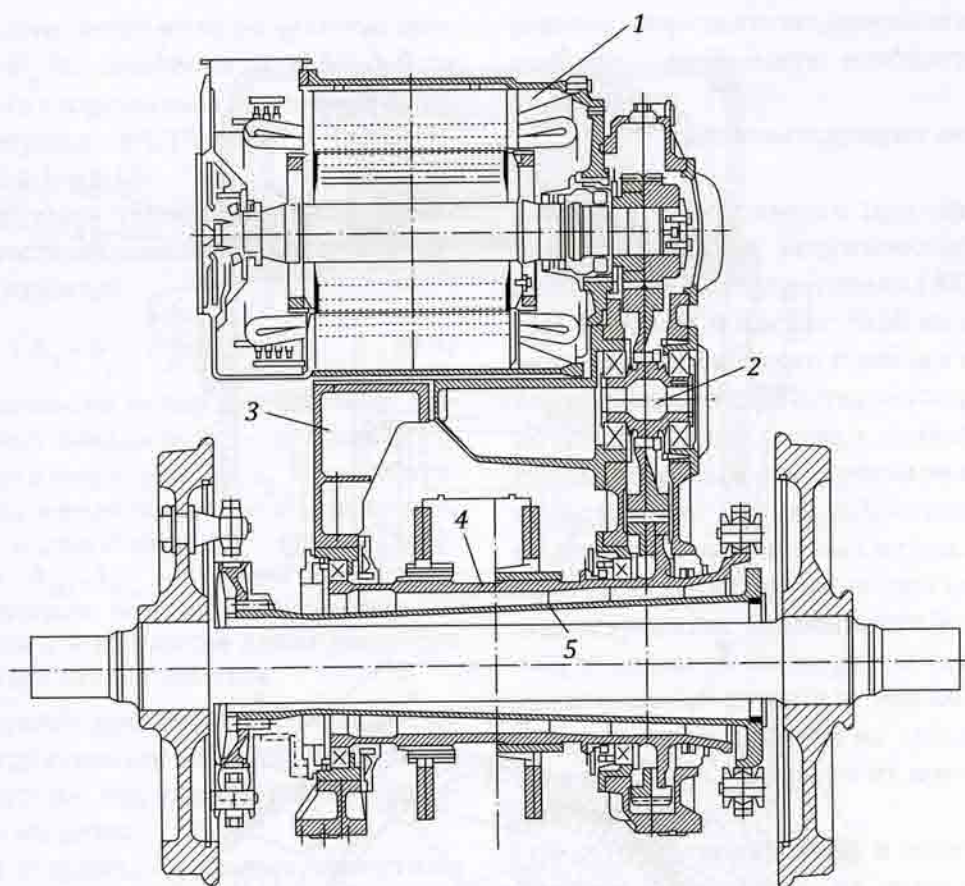


Рис. 14.9. Асинхронный тяговый двигатель электровозов высокоскоростных поездов ICE1 и ICE2 германских железных дорог в колесно-моторном блоке с тяговым приводом класса III: 1 — асинхронный тяговый двигатель; 2 — тяговый редуктор с промежуточным зубчатым колесом; 3 — рама; 4 — полый вал с тормозными дисками; 5 — карданный привод с полым валом на оси колесной пары

дальнего напряжения) составляют существенную долю. Для снижения потерь следует по возможности увеличить сечение стержня в верхней части.

Воздушный зазор между ротором и статором выбирается по критерию минимума суммарных потерь. Для АТД НБ602 воздушный зазор составляет 2,5—3 мм.

На рис. 14.9 приведено изображение АТД мощностью 1200 кВт в разрезе, установленного в колесно-моторном блоке электровоза высокоскоростных поездов ICE1 и ICE2. Тяговый привод выполнен с опорно-рамным подвешиванием двигателя и редуктора (с промежуточным зубчатым колесом) класса III. На двухосных тележках электровозов высокоскоростных поездов ICE1, ICE2 установлены два таких двигателя. На рис. 14.10 показан тяговый блок этих электровозов (двигатель с редуктором и колесной парой).

В настоящее время большинство выпускаемых промышленностью разных стран высокоскоростных поездов оснащены тяговыми приводами с асинхронными двигателями. На японском высокоскоростном поезде серии 100 (рис. 14.11, а) установлен АТД мощностью 230 кВт. Разрез АТД высокоскоростного поезда «Аллегро» показан на рис. 14.11, б, а общий вид АТД поезда «Сапсан» изображен на рис. 14.11, в. На рис. 14.12 изображена моторная тележка перспективного высокоскоростного поезда efSET¹ с конструкционной скоростью 350 км/ч компании Кавасаки (Япония), показано размещение асинхронных тяговых двигателей и тяговой передачи.

Особенности конструкции синхронного тягового двигателя (СТД). На высоко-

¹ Название поезда — аббревиатура от англ.: environmentally friendly Super Express Train — «дружественный с окружающей средой суперэкспресс».

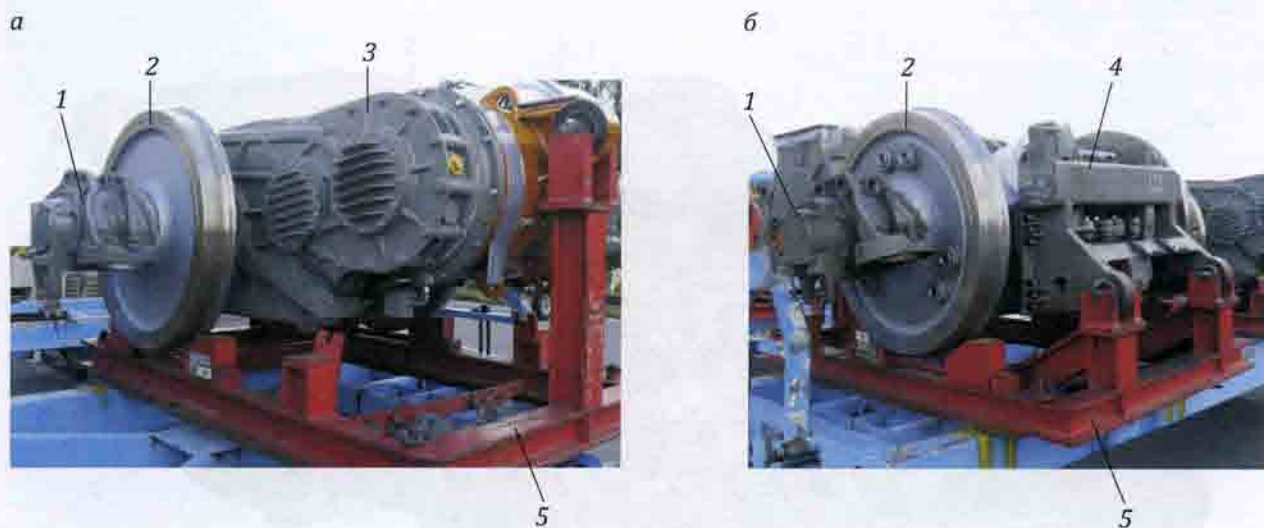


Рис. 14.10. Тяговые блоки электровозов высокоскоростных поездов ICE1, ICE2, размещенные на транспортной монтажной подставке на складе запасных частей депо: а — вид со стороны редуктора; б — вид со стороны тягового двигателя; 1 — буксовый узел; 2 — колесо; 3 — редуктор; 4 — тяговый двигатель; 5 — подставка для транспортировки

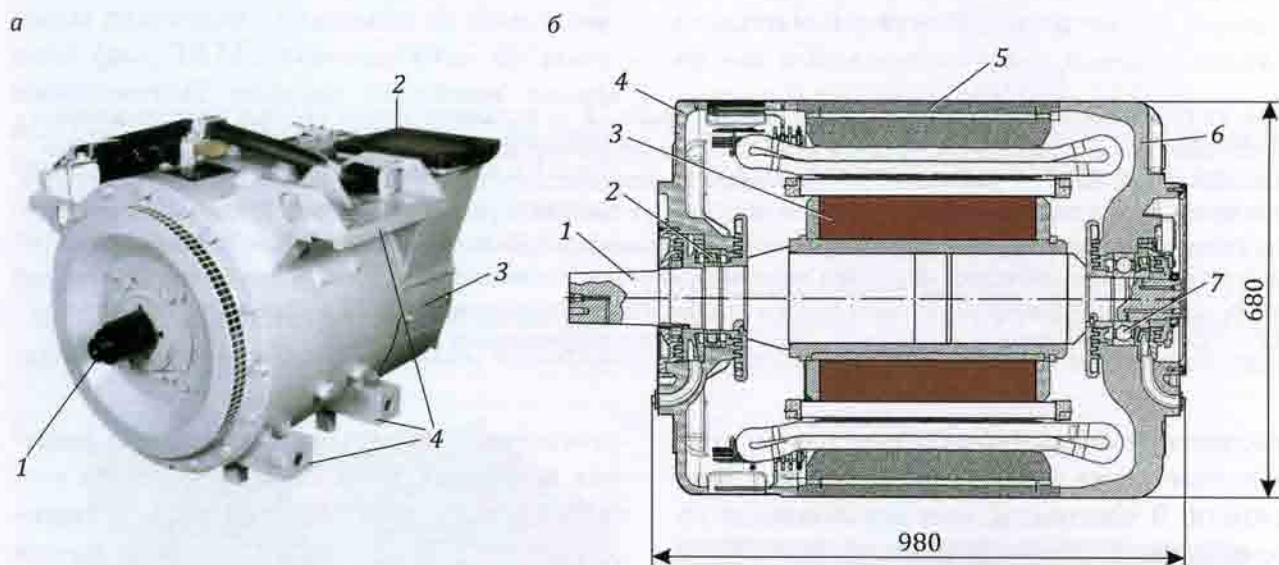


Рис. 14.11. Асинхронные тяговые двигатели: а — японского поезда серии 100: 1 — вал двигателя; 2 — отверстие присоединения воздухопровода подачи охлаждающего воздуха; 3 — корпус двигателя; 4 — прилив-кронштейны для крепления двигателя; б — поезда «Allegro» (номинальная мощность 564,8 кВт, максимальная частота вращения 3121 об/мин) с указанием габаритных размеров: 1 — вал двигателя; 2 — роликовый подшипник; 3 — короткозамкнутый ротор; 4 — щит со стороны привода; 5 — статор с трехфазной обмоткой; 6 — щит со стороны неприводного конца; 7 — шариковый подшипник; в — поезда «Сапсан»

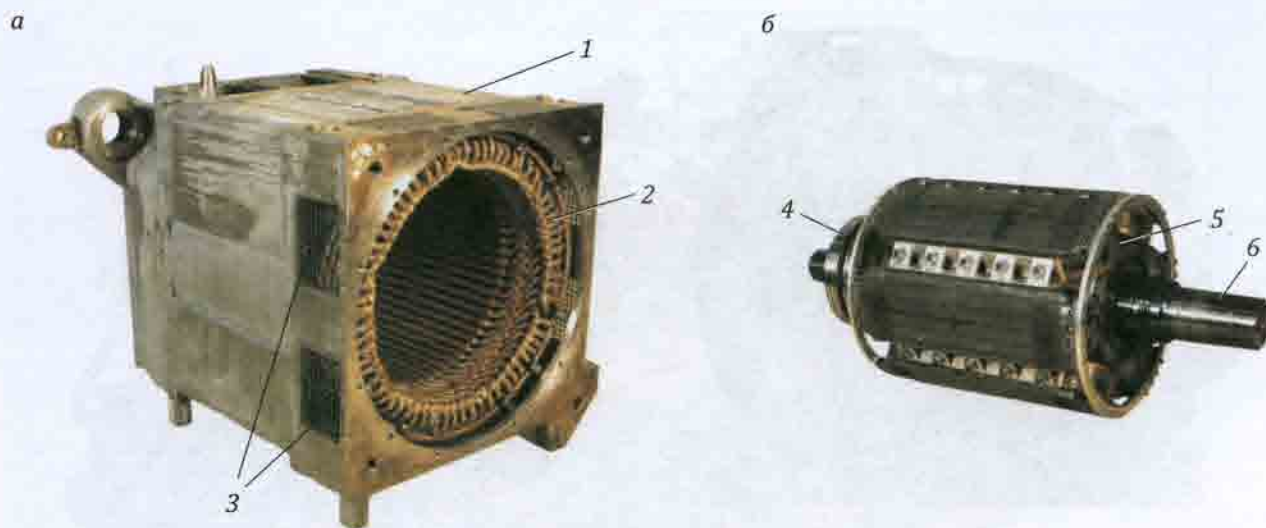


Рис. 14.13. Синхронный тяговый двигатель мощностью 1100 кВт высокоскоростного поезда AVE (серия 100): а — статор; б — ротор; 1 — станина статора; 2 — обмотка статора; 3 — вентиляционные отверстия; 4 — коллектор ротора; 5 — обмотка ротора; 6 — вал двигателя

ные к мощности, высокая надежность. Тяговые двигатели, созданные на этом принципе (рис. 14.14), используются на высокоскоростных поездах: серийном поезде AGV (компания Alstom, Франция); опытном японском поезде GCT. Разработки в этой области ведут и другие компании, в частности, японская «Тошиба», концерн Hyundai Rotem (Южная Корея).

Использование синхронных тяговых двигателей малого габарита и массы позволи-

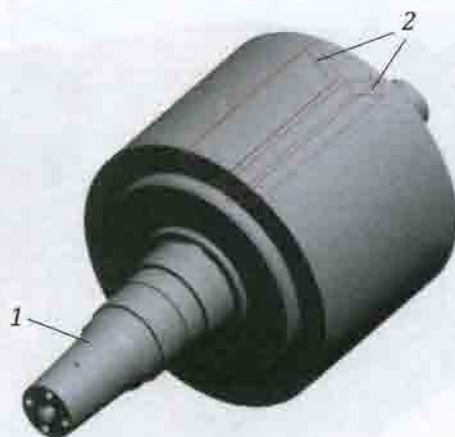
ло специалистам компании Alstom впервые создать моторную промежуточную тележку для высокоскоростного поезда с сочлененными вагонами AGV (рис. 14.15).

Применение асинхронных и синхронных тяговых двигателей, обладающих значительно меньшими удельными показателями по массе и рабочему объему по сравнению с традиционными коллекторными электродвигателями позволило успешно решить проблему конструирования экипажной час-



Рис. 14.14 (начало). Синхронные тяговые двигатели высокоскоростного подвижного состава: а — концерна Hyundai Rotem (мощность 410 кВт, напряжение 2150 В, максимальная частота вращения 4530 об/мин, масса в сборе 530 кг), общий вид (слева) и ротор

6



в

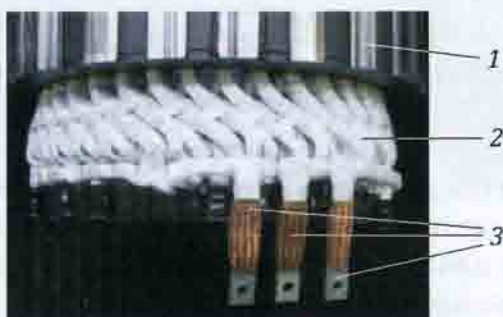


Рис. 14.14 (окончание): б — компании «Тошиба», общий вид (слева) и ротор: 1 — вал двигателя; 2 — постоянные магниты в общем корпусе; в — поезда AGV — статор (слева) и ротор: 1 — магнитопровод; 2 — лобовые части 3-фазной обмотки статора; 3 — выводы обмотки статора, соединенной в звезду; 4 — лопатки вентилятора; 5 — втулка; 6 — вал тягового электродвигателя; 7 — постоянные магниты

а

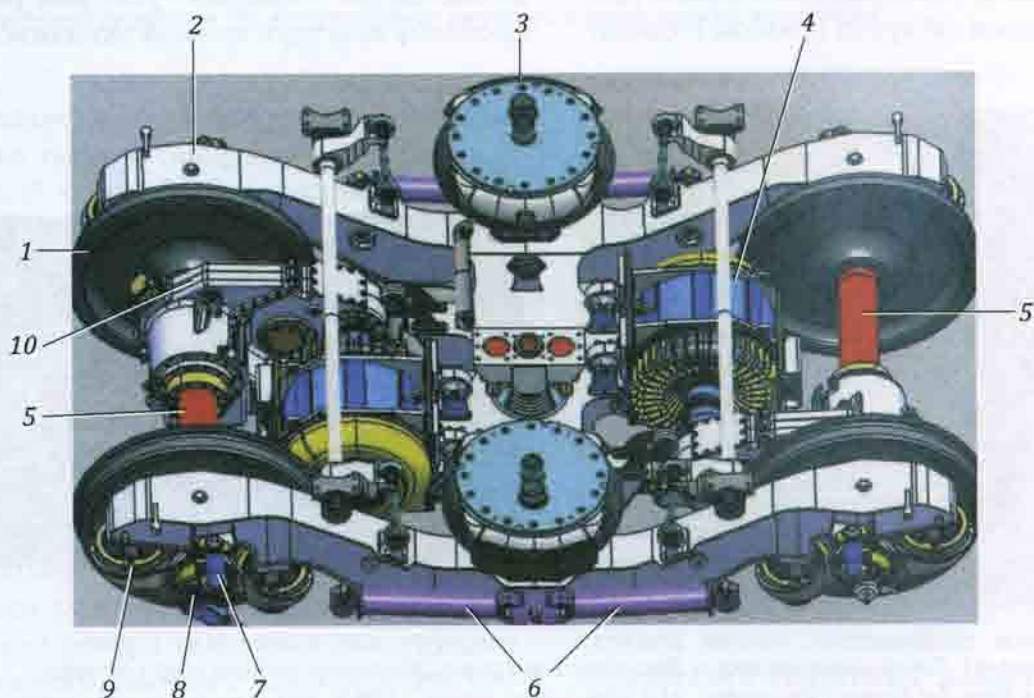


Рис. 14.15 (начало). Моторные тележки поезда AGV: а — промежуточные для сочлененных вагонов

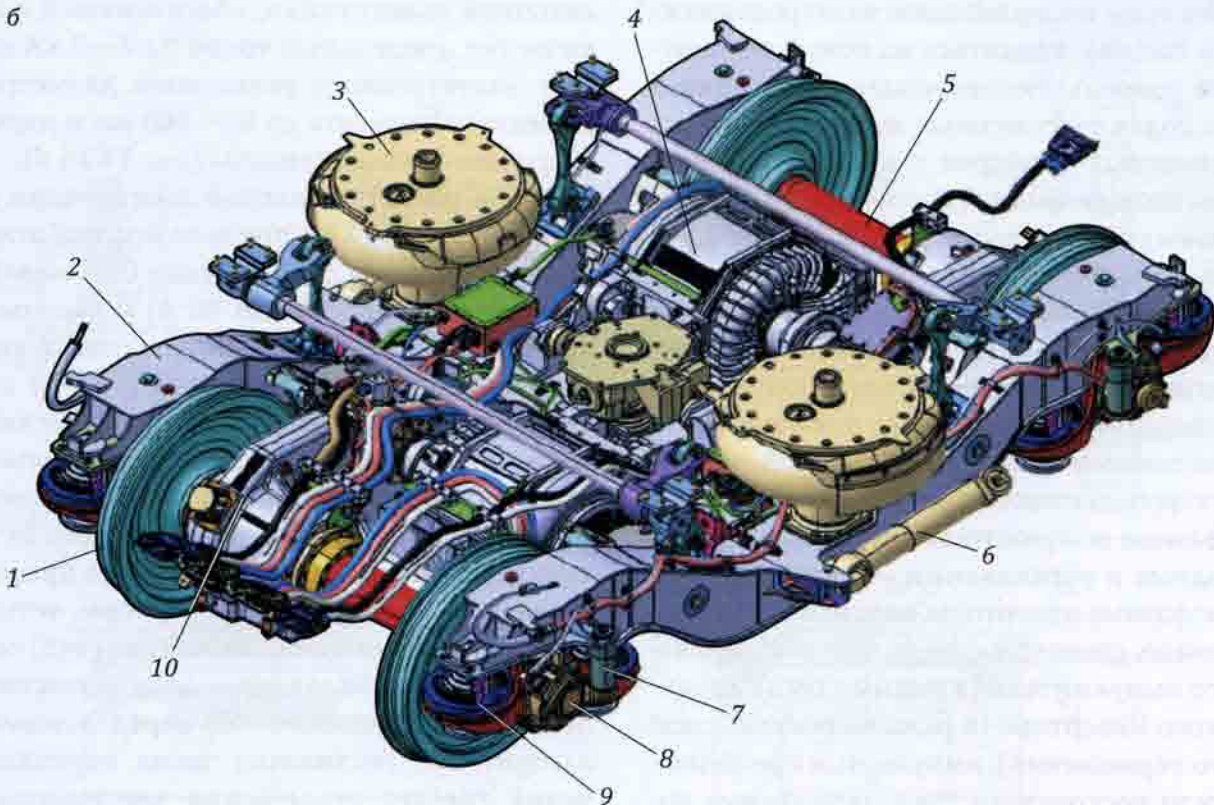


Рис. 14.15 (окончание): 6 — крайние моторные тележки в головных вагонах: 1 — колесная пара; 2 — рама тележки; 3 — пневматическая рессора центрального подвешивания; 4 — тяговый электродвигатель; 5 — ось колесной пары; 6 — гидравлические гасители колебаний виляния; 7 — гидравлические гасители колебаний первичной ступени подвешивания; 8 — букса; 9 — пружина первичной ступени подвешивания; 10 — редуктор

ти высокоскоростного электроподвижного состава и реализации необходимой тяговой мощности на одну движущую ось, а также высокую скорость вращения, включая рекордные скорости до 574,8 км/ч.

14.4. Тяговые преобразователи электроэнергии

Виды тяговых преобразователей. Для тяговых электроприводов электроподвижного состава разных поколений — с коллекторными двигателями постоянного тока и с бесколлекторными асинхронными и синхронными электродвигателями трехфазного тока — разработаны преобразователи различных видов и типов. В тяговом электроприводе находят применение все виды преобразователей по роду тока: пос-

тоянно-постоянного, переменного-постоянного, постоянно-переменного и переменного-переменного тока.

На ранней стадии разработок в тяговом приводе применялись электромашинные преобразователи, отличавшиеся громоздкостью, низким КПД и высокими эксплуатационными расходами. В 50-х годах прошлого столетия последовало быстрое совершенствование тягового электропривода с переходом на статические преобразователи с использованием ионных (ртутных) приборов — игнитронов и экзитронов. Применение ртутных преобразователей было сопряжено с низкой эксплуатационной надежностью из-за частых обратных зажигания и с повышенной вредностью, вызываемой загрязнением зоны обслуживания парами ртути. Разработки первых же силовых полупроводниковых приборов, вначале диодов, а затем тиристоров, позволили произвести

в 70-е годы модернизацию электроподвижного состава, подняться на новый технический уровень. Последующие разработки в 90-х годах современных мощных полупроводниковых приборов с полным управлением запираемых тиристоров (GTO, IGCT) и силовых транзисторов (IGBT) на токи 2,5—3 кА и напряжение до 6 кВ и более открыли путь к достижению технического совершенства тяговых преобразователей электроэнергии и созданию электроприводов подвижного состава нового поколения.

Основными типами преобразователей для электроподвижного состава являются: однофазные выпрямители (неуправляемые — диодные и управляемые — тиристорные); однофазные инверторы, ведомые сетью, как правило, совмещающие функции управляемого выпрямителя (в режиме тяги) и зависимого инвертора (в режиме рекуперативного торможения); импульсные преобразователи постоянного тока; автономные инверторы напряжения и тока для питания бесколлекторных двигателей; трехфазные выпрямители для тепловозных электрических передач. В зависимости от применяемой приборной базы (диодов, тиристоров, силовых транзисторов) электрические схемы, тягово-энергетические и массо-габаритные показатели преобразователей существенно различаются.

Силовые полупроводниковые приборы и их свойства. Характерные силовые приборы поколения 60—70-х годов прошлого века показаны на рис. 14.16. Силовые диоды и тиристоры первого поколения выполнялись штыревой конструкции с односторонним охлаждением и паяными контактами.

С целью повышения термоцикlostойкости силовых полупроводниковых приводов (СПП) паяные контакты были заменены на прижимные (рис. 14.16, б, г), поставлены специальные тарельчатые пружины. Корпус этих приборов выполнен металлокерамическим. СПП штыревой конструкции выполняются на предельные токи, примерно до 500 А, что ограничивается трудностями охлаждения при одностороннем отводе теплоты. Поэтому были разработаны СПП таб-

леточной конструкции, обеспечившей повышение предельных токов до 2—3 кА за счет значительного увеличения диаметра кремниевых элементов до 80—100 мм и двухстороннего отвода теплоты (рис. 14.16, д).

Бурное развитие силовой электроники в 80-х и 90-х годах XX в. привело к разработке целого семейства современных СПП малой и средней мощности (до 50 А) и мощных приборов (более 50 А): неуправляемых, управляемых однооперационных (только на включение) и двухоперационных (включение и выключение) тиристоров и полностью управляемых силовых транзисторов.

Преобразователи электроподвижного состава новых поколений: импульсные преобразователи, автономные инверторы, четырехквadrантные преобразователи (4qS) основаны на переключении электрических цепей под напряжением по определенным алгоритмам. Реализация таких переключений требует применения электронных ключей, способных как замыкать, так и размыкать токовые цепи в заданные моменты времени. Обычные однооперационные тиристоры по сигналу, подаваемому на управляющий электрод, обеспечивают только операцию включения. Для перевода такого тиристора в непроводящее состояние (запирание) в его кремниевой структуре требуется создать такие условия, при которых произойдет полная рекомбинация зарядов. Для этого необходимо снизить прямой ток до нуля и выдержать время, необходимое для рекомбинации. Это время достигает десятков и даже сотен микросекунд, что существенно снижает быстродействие. Снижение тока до нуля в тиристорах различных преобразователей может происходить естественно под действием ЭДС питающей сети или ЭДС нагрузки, либо искусственно за счет встречного тока разряда предварительно заряженного конденсатора. Таким образом, применение обычных тиристоров в схемах преобразователей требует дополнительного коммутирующего устройства, которое по своей сложности, массе и габаритам не уступает собственно самой схеме преобразователя.

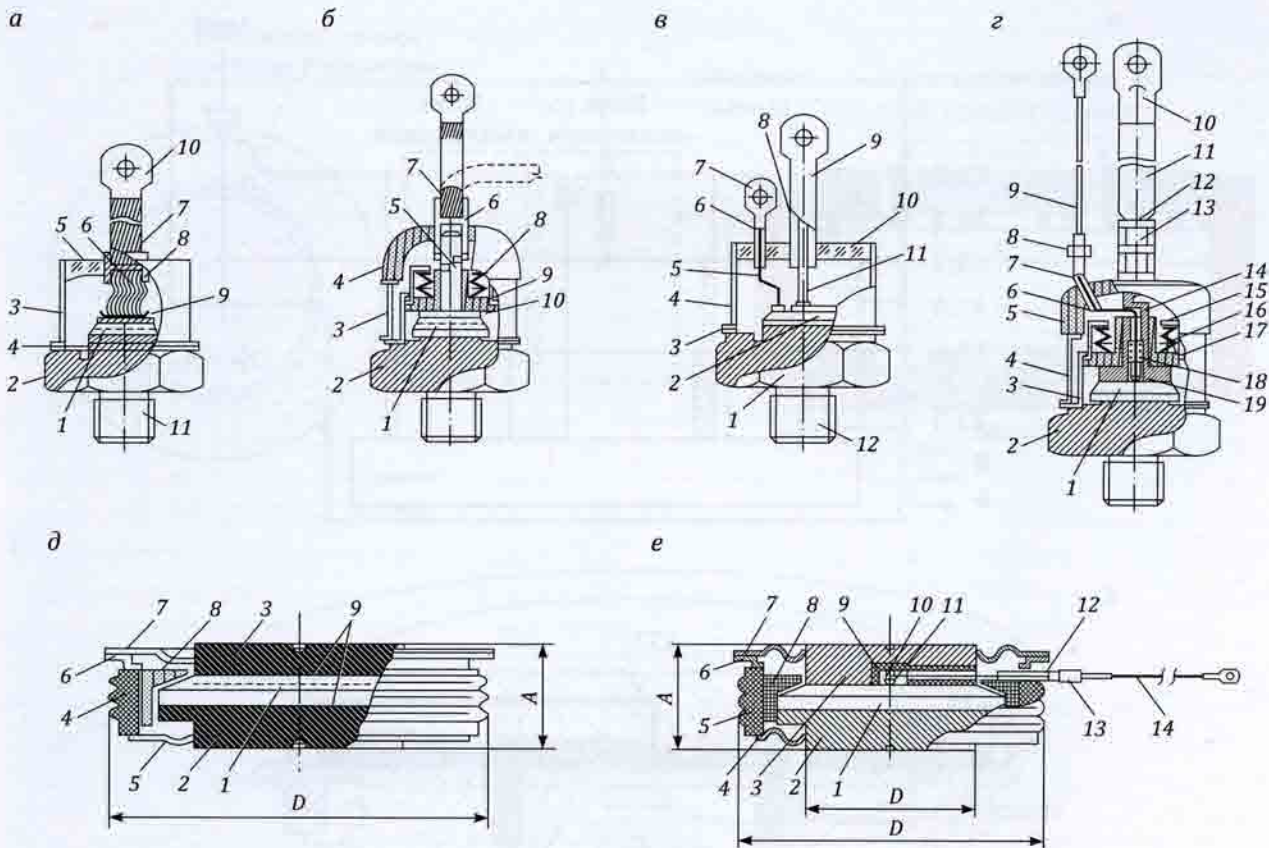
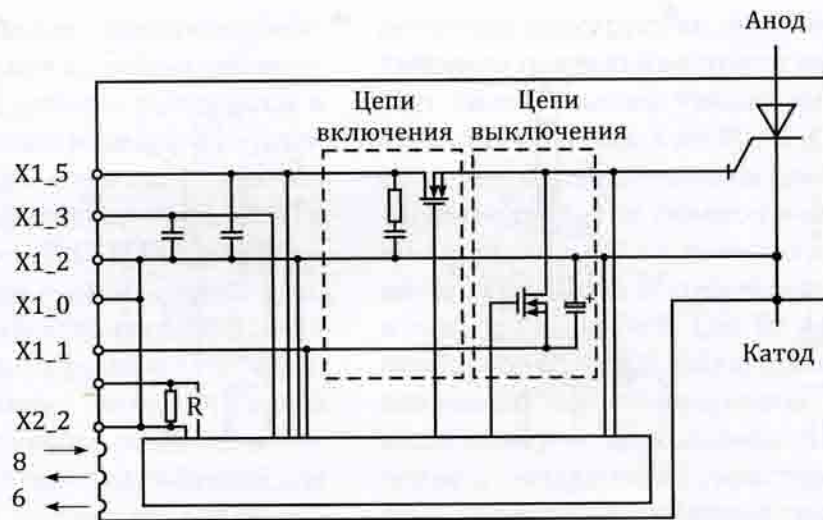


Рис. 14.16. Силовые полупроводниковые приборы: а — диод штыревой с паяными контактами: 1 — выпрямляющий элемент с кремниевой пластиной; 2 — медное основание; 3 — стальная или коваровая втулка; 4 — кольцо; 5 — стеклянный изолятор; 6, 7 — внутренний и внешний гибкие шунты; 8 — соединительная трубка с перегородкой; 9 — чашечка с припоем; 10 — наконечник; 11 — шпилька; б, г — диод и тиристор штыревой конструкции (указаны основные элементы конструкции) с прижимными контактами, металлокерамическим корпусом 3 (4) и 4 (5), тарельчатой пружиной 8 (16); в — тиристор штыревой конструкции с паяными контактами: 1 — медное основание; 2 — кремниевый тиристорный элемент; 3 — стальное кольцо; 4, 6, 8 — втулки из ковара; 5 — внутренний вывод управляющего электрода; 7, 9 — наконечники; 10 — стеклянный изолятор; 11 — катод тиристора; 12 — шпилька; д — диод таблеточной конструкции: 1 — выпрямляющий элемент; 2, 3 — медные основания; 4 — керамический изолятор; 5, 6 — манжеты; 7 — мембрана; 8 — центрирующий изолятор; 9 — контактирующие прокладки; е — тиристор таблеточной конструкции: 1 — тиристорный элемент; 2, 3 — медные основания; 4, 6 — манжеты; 5 — керамический изолятор; 7 — мембрана; 8 — центрирующий изолятор; 9 — управляющий электрод; 10 — изолятор; 11 — прижимная пружина; 12 — трубка; 13 — наконечник; 14 — гибкий наружный вывод управляющего электрода

Изобретение в 1959 г. нового типа тиристора, обеспечивающего по сигналу в цепи управляющего электрода обе операции: включение и выключение, открыло путь к созданию запираемых (двухоперационных) тириستоров нового поколения. Примерно два десятилетия длилось совершенствование этого СПП. Лишь к началу 80-х годов появились мощные запираемые тиристоры (GTO), а затем в конце 90-х годов прошлого столетия они были модифицирова-

ны (рис. 14.17). Появился новый класс приборов — тиристор, коммутируемый по затвору GCT или IGCT (интегрированный с обратным диодом). Для достижения высоких скоростей коммутации анодного тока в GCT необходимо управлять током, равным или большим анодного ($k_y < 1$) при скорости изменения управляющего тока 1000—3000 А/мкс. В результате почти на порядок уменьшается время коммутации, снижаются коммутационные потери. Высокая ско-

а



б

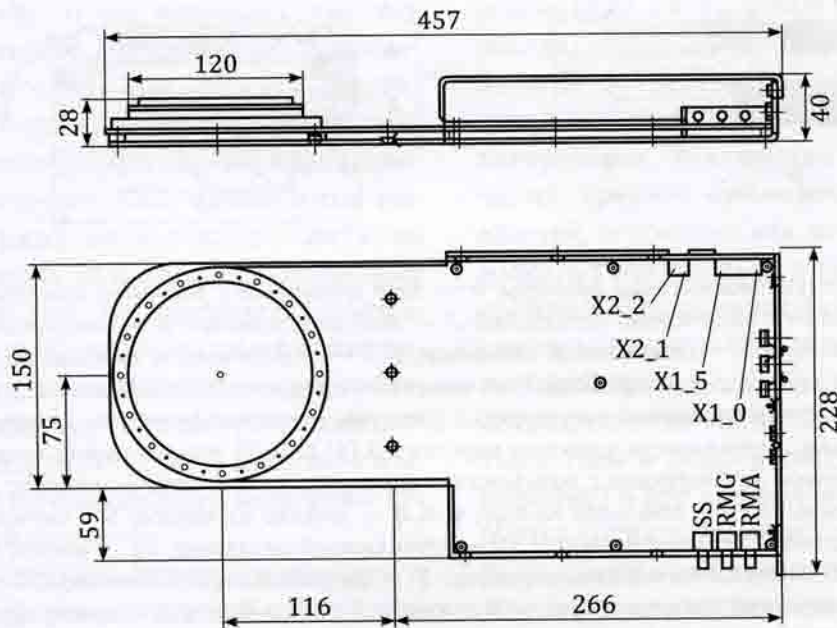


Рис. 14.17. Запираемый (GTO) тиристор 5SHY35L4502 на предельный ток 1,8 кА и блокирующее прямое напряжение 4,3 кВ (фирмы ABB Semiconductors AG): а — схема; б — конструкция тиристора

рость изменения управляющего тока обеспечивается за счет специально сконструированных низкоиндуктивных концентрических выводов управляющего электрода в прижимной таблеточной конструкции (рис. 14.18). В IGCT эта конструкция объединена с многослойной плоской схемой управления (драйвера). Кроме того, в IGCT имеется интегрированный быстро восстанавливающийся диод (рис. 14.18, д). Вве-

дение дополнительного буферного слоя (pin-структура) обеспечило уменьшение на 40 % толщины кремния, а соответственно, и уменьшение статических и динамических потерь, повышение рабочей частоты переключений.

В начале 90-х годов XX столетия на мировом рынке приборов силовой электроники появился новый СПП — биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT).

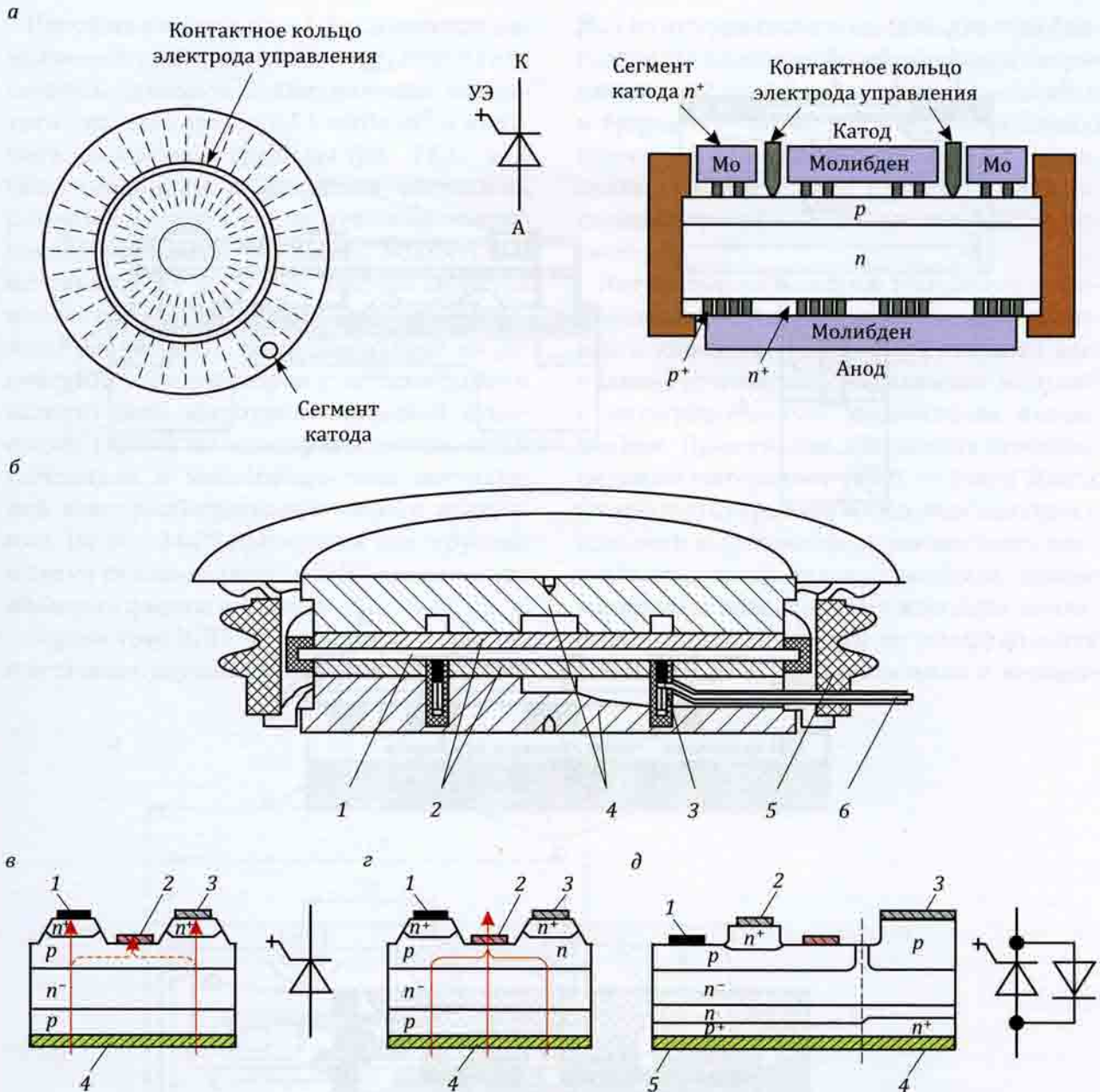


Рис. 14.18. Запираемые тиристоры: а — полупроводниковый кристалл и его структура; б — конструкция запираемого тиристора в разрезе: 1 — кристалл; 2 — молибденовые диски; 3 — кольцевой контакт электрода управления; 4 — медные диски; 5 — керамический корпус; 6 — вывод управляющего электрода; в — структура традиционного запираемого тиристора (GTO): 1, 3 — катод; 2 — управляющий электрод; 4 — анод; г — структура нового тиристора, коммутируемого по затвору (GCT): 1, 3 — катод; 2 — управляющий электрод; 4 — анод; д — структура тиристора, коммутируемого по затвору интегрированного с быстровосстанавливающимся диодом (IGCT): 1 — управляющий электрод; 2 — катод тиристора; 3 — анод диода; 4 — катод диода; 5 — анод тиристора

Появление этого прибора повлекло за собой столь радикальные изменения в силовой электронике, что можно говорить о второй технической революции, переживаемой данным научно-техническим направлением. Несмотря на высокую стои-

мость IGBT по сравнению с тиристорами, их продажа на мировом рынке силовой электроники увеличивается. На рис. 14.19 приведены структуры силовых биполярных транзисторов с изолированным затвором.

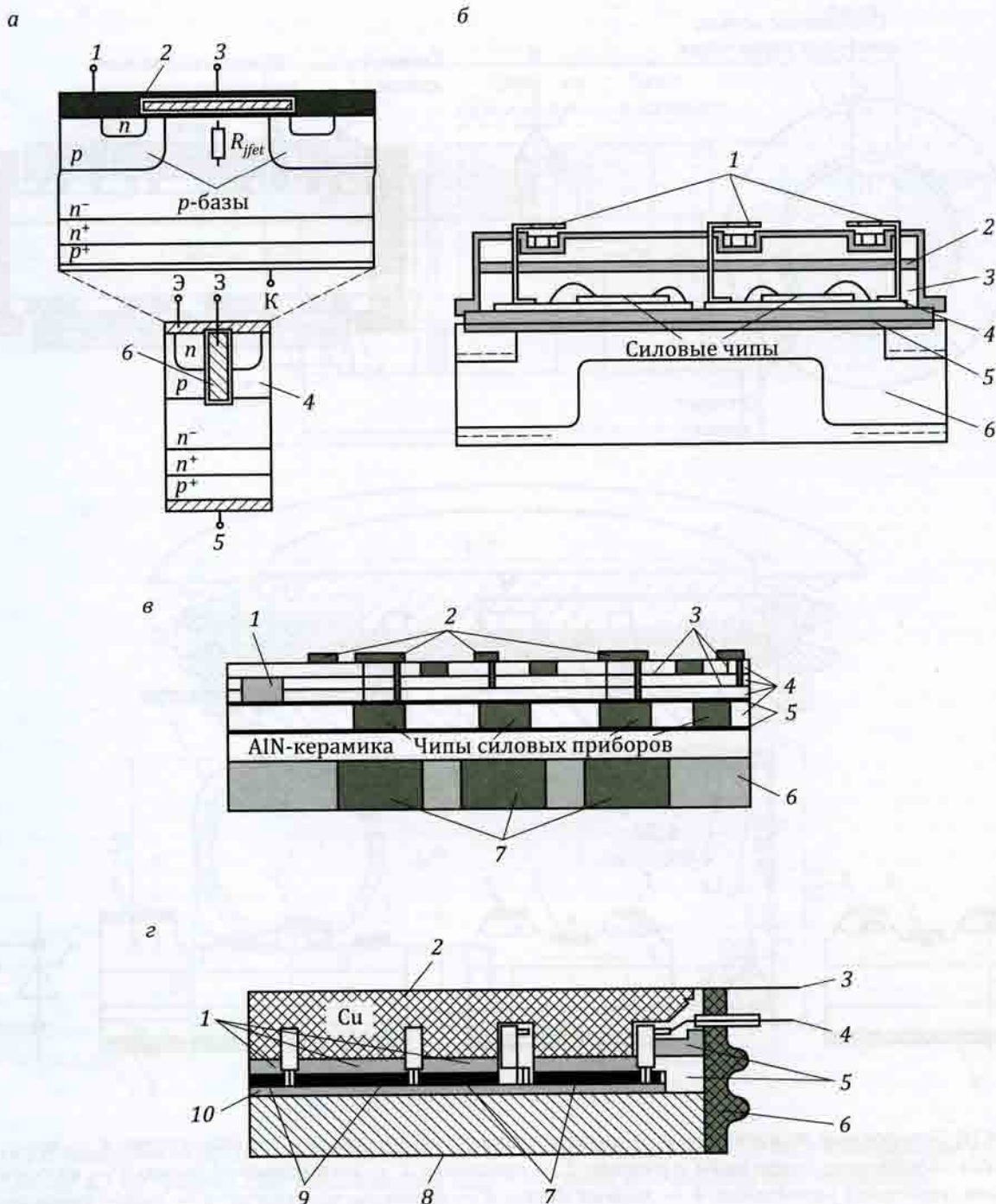


Рис. 14.19. Силовые биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT): а — структура элементарных ячеек обычного (планарного) IGBT (вверху) и выполненный по «trench-gate-technology»: 1 — эмиттер; 2 — изоляция затвора; 3 — затвор; 4 — р-база; 5 — коллектор; 6 — изоляция затвора; б — модуль с интегральным жидкостным охлаждением: 1 — силовые выводы; 2 — эпоксидный компаунд; 3 — кремнийорганический компаунд; 4 — керамика; 5 — основание; 6 — камера жидкостного охлаждения; в — интеллектуальный силовой модуль MMC (Metal-Matrix-Composite): 1 — пассивные компоненты; 2 — безвыводные компоненты; 3 — металлизация; 4 — керамика; 5 — силовые шины; 6 — основание (MMC или молибден); 7 — теплоотводы (медь или MMC); г — прижимная конструкция IGBT: 1 — молибденовые прокладки; 2 — эмиттер; 3, 4 — выводы цепи затвора; 5 — сепараторы; 6 — керамика; 7 — чипы IGBT; 8 — коллектор; 9 — чипы силового диода; 10 — молибденовый диск

Новейшая технология («утопленного канала» — trench-gate technology) позволила снизить удельное сопротивление открытого транзистора до $0,01 \text{ мкОм} \cdot \text{м}^2$ и получить дискретные приборы (рис. 14.19, а) с сопротивлением в открытом состоянии, равным единицам мкОм, что существенно снизило потери и позволило поднять рабочую частоту до 1 МГц. Данное свойство полностью управляемого прибора позволило реализовать преобразователи на основе IGBT-транзисторов с оптимальными алгоритмами широтно-импульсной модуляции (ШИМ) по критериям тягово-энергетических и массогабаритных показателей электрооборудования нового поколения. На рис. 14.20 приведены конструкция и схема силового модуля IGBT-транзистора японской фирмы «Hitachi».

Параметры IGBT за последние годы существенно улучшались, при этом некото-

рые из них удваиваясь каждые два года благодаря повышению коммутируемого напряжения с 1,2 до 1,7 кВ, затем до 3—3,5 кВ и в будущем — до 4,5—7,0 кВ; уменьшению прямого падения напряжения с 4 В у I поколения до 3,3 В у II, до 2,1 В у III, до 1,2 В (в настоящее время) у IV поколения IGBT-транзисторов.

Интенсивно развивается технология с применением сборки на керамических подложках в корпусах с малоиндуктивными выводами, разработки специальных модулей с интегрированным жидкостным охлаждением. Применение матричных композиционных материалов (MMC — Metal Matrix Composite) открывает новые перспективы в создании высокомоощных компактных, прочных, надежных силовых модулей. Новые материалы обеспечивают хорошую изоляцию и согласованность по коэффициенту теплового расширения кремния и керами-

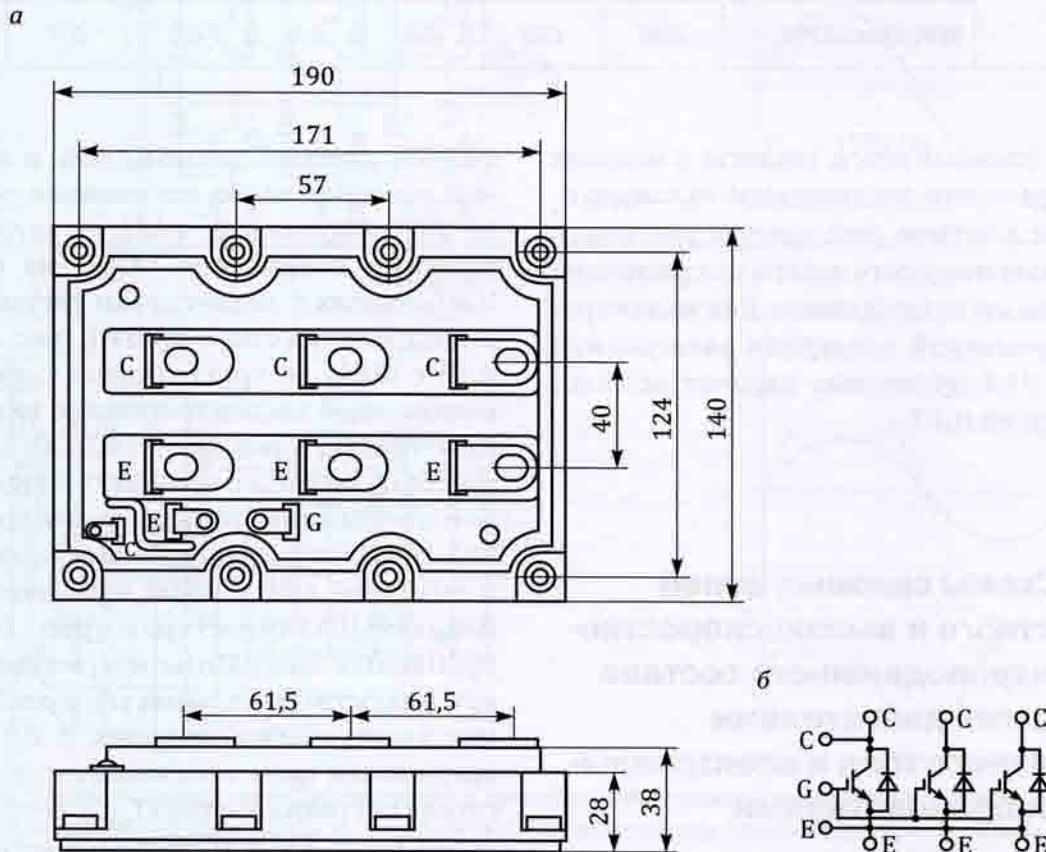
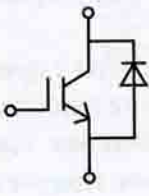
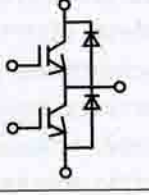
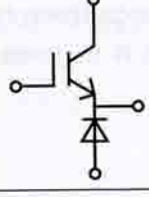


Рис. 14.20. Модуль силового IGBT-транзистора (Hitachi) типа MBN12000D33: а — конструкция; б — схема

Силовые модули IGBT-транзисторов фирмы Hitachi

Схема	Тип	Предельные параметры			Характеризующие параметры			
		U_{ce} , В	I_c , А	P_c , Вт	U_{ce} , В	t_{on} , мкс	t_{off} , мкс	t_f , мкс
	MBN1200D33	3300	1200	12 000	4,2	3,5	4,0	1,5
	MBN600D33	3300	600	600	4,5	3,0	3,0	1,5
	MBN400D33	3300	400	400	4,5	3,0	3,0	1,5
	MBN1500D17	1700	1800	12 000	4,0	3,0	4,0	1,5
	MBN1200GS12AW	1200	1200	5600	2,9	2,2	1,6	0,55
	MBN600GS12AW	1200	600	3100	2,7	0,8	1,2	0,4
	MBN400GS12AW	1200	400	2000	2,7	0,7	1,1	0,35
	MBN1000QS12BW	1200	1000	5000	2,9	2,1	1,5	0,55
	MBM600QS12AW	1200	600	2600	2,9	0,9	1,3	0,45
	MBM400QS12AW	1200	400	1700	2,9	0,8	1,2	0,4
	MBM600GS6ACW	600	600	1700	1,9	0,8	1,1	0,35
	MBL150GS12PW	1200	150	800	2,7	0,55	1,0	0,35
	MBL400GS6PW	600	400	1000	1,9	0,7	1,1	0,35
	MBL150GS6PW	600	150	450	1,9	0,6	0,9	0,35

ки, эффективный отвод теплоты. В модулях с интегральным жидкостным охлаждением почти в четыре раза удается увеличить отводимую мощность потерь по сравнению с воздушным охлаждением. Для иллюстрации современной продукции электроники в табл. 14.1 приведены параметры силовых модулей IGBT.

14.5. Схемы силовых цепей скоростного и высокоскоростного электроподвижного состава с тяговыми двигателями трехфазного тока и электронными преобразователями

Схемы основных видов тяговых преобразователей электроподвижного состава приведены на рис. 14.21. Схемы содержат: одно-

фазный диодный выпрямитель и импульсный преобразователь постоянного тока (ИП) на IGBT-модулях (рис. 14.21, а); автономный инвертор напряжения (АИН) на силовых IGBT-модулях с амплитудным регулированием напряжения с помощью ИП (рис. 14.21, б); АИН с ШИМ по трехточечной схеме, обеспечивающей последовательное включение IGBT-транзисторов (рис. 14.21, в); преобразователь частоты с промежуточным контуром постоянного тока, включающий входной четырехквadrантный преобразователь и выходной АИН с ШИМ, выполненные на модулях GTO-тиристоров (рис. 14.21, г). Временные диаграммы напряжений и токов иллюстрируют характер преобразования электрической энергии. В ИП за счет прерывания цепи тока коллекторного двигателя постоянного тока $i_{дпт}$ с несущей частотой $F_{нес} = 3$ кГц достигается регулирование среднего значения напряжения, подводимого к якорию двигателя, при постоянном его значении в тяговой сети (в данном

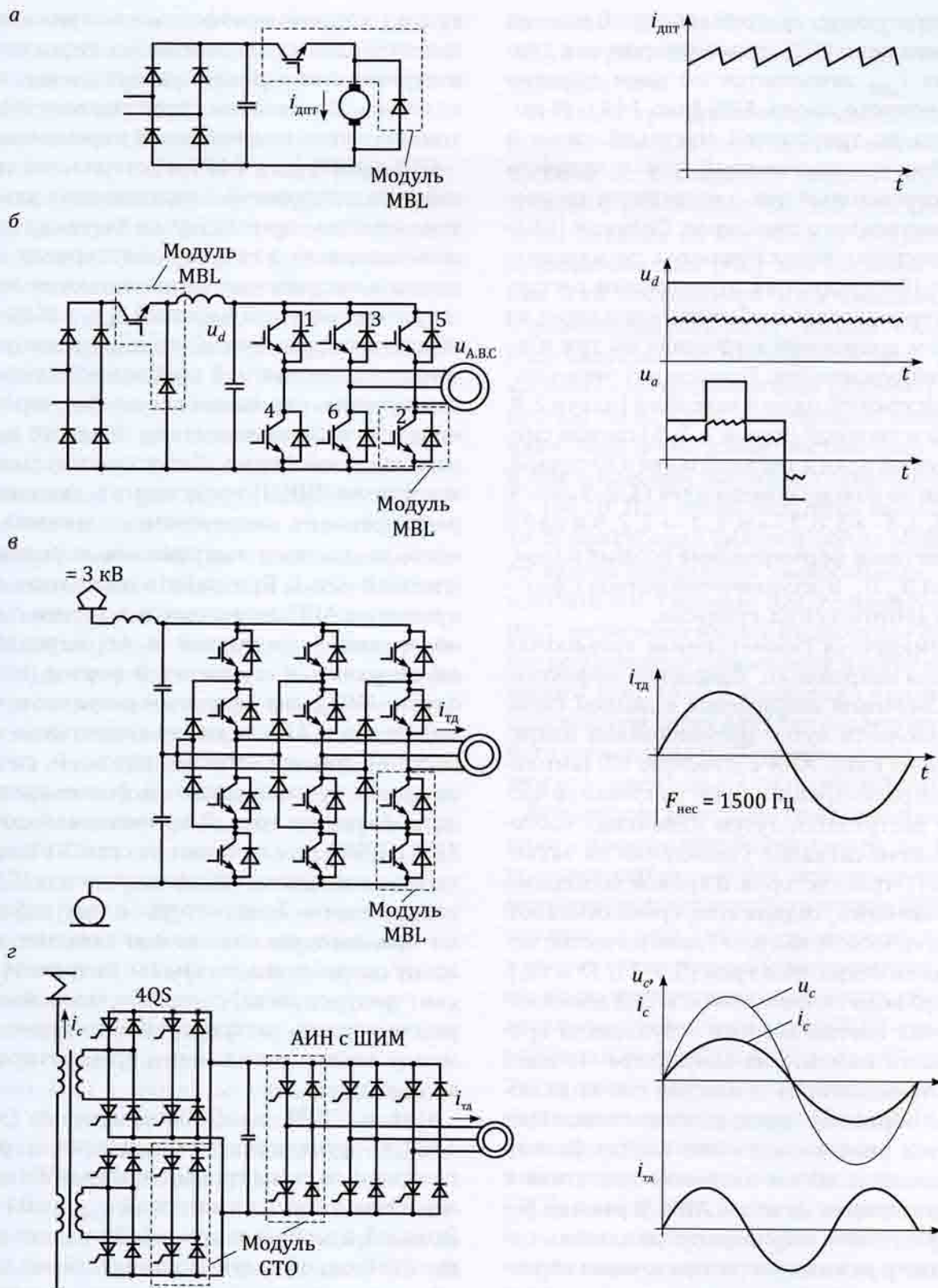


Рис. 14.21. Схемы тяговых преобразователей и временные диаграммы напряжений и токов (справа): а — импульсный преобразователь на модулях IGBT-транзисторов (типа MBL); б — автономный инвертор напряжения с амплитудным регулированием напряжения на модулях IGBT-транзисторов (типа MBL); в — автономный инвертор напряжения с ШИМ по трехточечной схеме на модулях IGBT-транзисторов (типа MBL); г — преобразователь частоты и напряжения на модулях GTO-тиристор, состоящий из четырехквadrантного преобразователя 4qS и автономного инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией (АИН с ШИМ)

примере после выпрямления). В момент разрыва цепи IGBT-транзистором ток двигателя $i_{дпт}$ замыкается по цепи обратно включенного диода. АИН (рис. 14.21, б) выполнен по трехфазной мостовой схеме и преобразует постоянный ток в трехфазный переменный ток для питания тягового асинхронного двигателя. Силовые IGBT-транзисторы переключаются по алгоритму со 180-градусным проводящим состоянием транзисторов, обеспечивая в схеме на каждом временном интервале по три плеча, проводящих ток. Происходит чередование состояний: один в катодной (плечи 2, 4, 6) два в анодной (плечи 1, 3, 5) группе сменяются на один в анодной и два в катодной, обегая по кольцу номера плеч (1, 2, 3 → 2, 3, 4 → 3, 4, 5 → 5, 6, 1 → 6, 1, 2 → 1, 2, 3 и т.д.) и обеспечивая формирование фазных напряжений U_a, U_b, U_c ступенчатой формы с фазовым сдвигом 120 эл. градусов.

Формируется симметричная трехфазная система напряжений. Изменение эффективного значения напряжения в данной схеме производится путем регулирования напряжения на входе АИН с помощью ИП (амплитудное регулирование). Регулирование частоты достигается путем изменения частоты подачи сигналов управления на затворы IGBT-транзисторов. В кривой выходного напряжения u_a содержатся, кроме основной гармонической, высшие гармонические нечетные и некратные трем (5, 7, 11, 13 и т.д.). Это приводит к появлению в ТАД дополнительных потерь энергии и пульсаций вращающего момента на валу. Встречно цепи IGBT-транзисторов в каждом плече включены обратные диоды, обеспечивающие пропуск реактивных токов между фазами двигателя и обмен энергией двигателя с конденсатором на входе АИН. В режиме рекуперативного торможения двигатель переходит в режим генератора и через обратные диоды энергия передается в звено постоянного тока. Мост обратных диодов обеспечивает выпрямление трехфазного тока генератора. Для гашения энергии торможения в звене постоянного тока может быть установлен тормозной резистор. При возврате энергии в тяговую сеть переменного

тока входной однофазный выпрямитель выполняется управляемым на тиристорах и переводится в режим инвертора ведомого сети, обеспечивая преобразование постоянного тока в однофазный переменный.

АИН с ШИМ (рис. 14.21, в) отличается способом регулирования напряжения на двигателе. Силовые транзисторы в плечах на каждом интервале в течение полупериода выходного напряжения переключаются многократно с несущей частотой $F_{нес} = 1500$ Гц, обеспечивая различное заполнение импульсами с эквивалентной огибающей, близкой к синусоиде, что способствует формированию тока в фазах двигателя, близкого к синусоидальной форме. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) происходит в диапазоне регулирования напряжения от минимального до полного напряжения источника (тяговой сети). При работе на полном напряжении АИН переводится в режим с однократной коммутацией и формированием напряжения ступенчатой формы (как в случае АИН с амплитудным регулированием). На входе АИН включен индуктивно-емкостной фильтр, обеспечивающий согласование с тяговой сетью по форме кривой потребляемого тока. В приведенной схеме АИН с ШИМ при питании от сети 3 кВ применено последовательное включение IGBT-транзисторов. Транзисторы плохо работают при последовательном включении, поэтому разработана специальная трехточечная (трехуровневая) схема, обеспечивающая равномерность распределения напряжения между последовательными транзисторами в одном плече.

АИН с ШИМ на GTO-тиристорах (рис. 14.21, г) функционирует аналогично рассмотренным выше транзисторным АИН с более низкой несущей частотой $F_{нес} = 300$ Гц. Входной преобразователь 4qS представляет собой однофазную мостовую схему преобразования однофазного тока в постоянный ток и обратного преобразования. Преобразователь имеет полностью управляемые коммутируемые плечи на GTO-тиристорах, встречно которым включены обратные диоды. Такая схема обеспечивает обмен энергией между сетью однофазно-

го тока и звеном постоянного тока во всех четырех квадрантах диаграммы «ток-напряжение». Преобразователь обеспечивает многократное переключение в плечах мостовой схемы с несущей частотой в несколько сотен герц и на его входе формируется ток i_c близкий к синусоидальной форме, совпадающий по фазе с кривой напряжения сети u_c . Это способствует повышению качества электроэнергии, потребляемой из тяговой сети. Коэффициент мощности такого четырехквадрантного преобразователя близок к единице, как в тяговом режиме, так и в режиме рекуперативного торможения. Тяговый преобразовательный трансформатор 4qS выполняется специально с повышенным (до 30 %) напряжением короткого замыкания, так как в процессе функционирования 4qS на отдельных временных интервалах создаются короткозамкнутые контуры вторичной обмотки.

Силовые схемы моторных единиц электроподвижного состава с ТАД и преобразователями частоты при питании от контактной сети переменного тока приведены на рис. 14.22, а, в и от контактной сети постоянного тока на рис. 14.22, б, г. Силовая схема моторного вагона электропоезда серии 207, от сети постоянного тока 1,5 кВ показана на рис. 14.22, а. Схема электропоезда (рис. 14.22, б) обеспечивает работу при питании как от сети переменного тока 15 кВ, 16 2/3 Гц (положение переключателей показано на рисунке), так и от сети постоянного тока 3 кВ (положение контактных переключателей должно быть изменено). При питании от сети переменного тока входной преобразователь работает в режиме 4qS, а при питании от сети постоянного тока в режиме ИП.

Отечественный опытный высокоскоростной поезд «Сокол» был спроектирован на две системы тока в тяговой сети: 25 кВ, 50 Гц переменного тока и 3 кВ постоянного тока (рис. 14.23). Тяговый преобразователь разработан на IGCT-тиристорах (фирма ABB, Швейцария) и IGBT-транзисторах (фирма Hitachi, Япония). Выбор элементной базы обусловлен необходимостью размещения мощного преобразователя (для

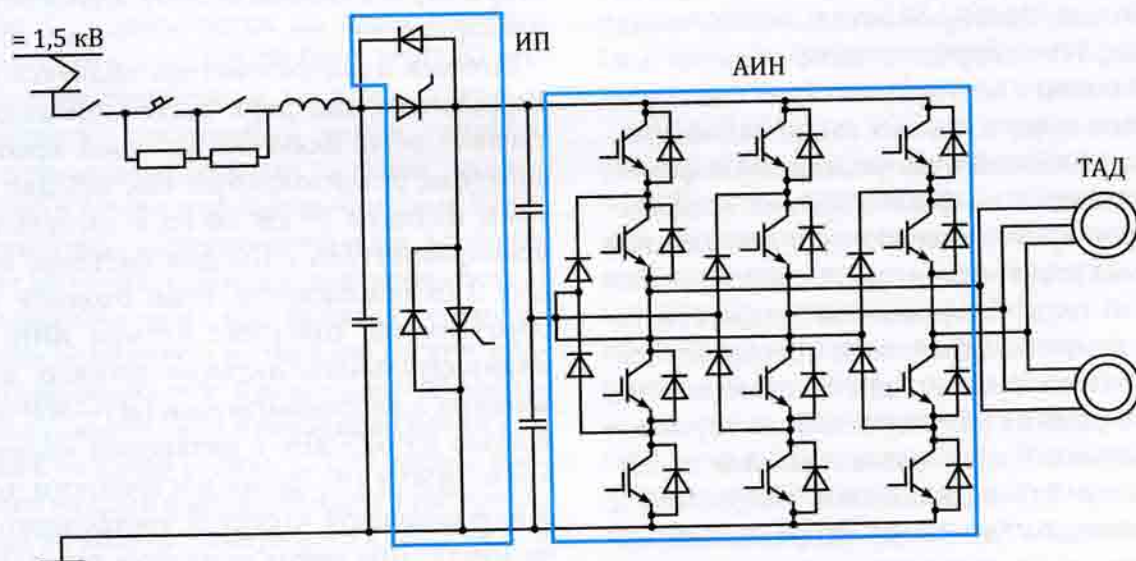
питания ТАД 675 кВт на каждую движущую ось) в ограниченном объеме подвагонного пространства.

Тяговый преобразователь является универсальным для двух систем питания от тяговой сети, включает входной преобразователь, реализованный как 4qS для системы питания 25 кВ, 50 Гц, и импульсный преобразователь (ИП) для системы питания 3 кВ постоянного тока. Входной преобразователь содержит четыре АИН для индивидуального питания тяговых асинхронных электродвигателей (М1—М4) мощностью по 675 кВт с питающим напряжением 1650 В (по звену постоянного тока) и максимальной частотой трехфазного тока 150 Гц. При смене рода тока тяговой сети конфигурация силовой схемы моторного вагона изменяется специальным переключателем. Силовые IGBT-транзисторы и IGCT-тиристоры имеют жидкостное охлаждение. Принятое напряжение в звене постоянного тока 1650 В позволило применить простейшую схему АИН без последовательного соединения IGBT-транзисторов с рабочим напряжением 3,3 кВ и током 1200 А.

Дальнейшее совершенствование схемотехники силовых преобразователей на IGBT-транзисторах позволило отказаться от применения входного преобразователя (ИП) при питании от сети 3 кВ постоянного тока. Применение трехточечной (трехуровневой) схемы позволило успешно применить последовательное соединение тех же IGBT-транзисторов на 3,0 кВ и 1200 А в схемах АИН с ШИМ. Такая схема силовых цепей принята на отечественном электропоезде ЭД6 (рис. 14.24).

На электроподвижном составе с тяговыми синхронными электродвигателями (ТСД) преимущественно используются автономные инверторы тока (АИТ). На отечественном опытном образце скоростного (200 км/ч) электровоза ЭП200 (рис. 14.25) применен индивидуальный привод класса III с ТСД мощностью 1000 кВт при нагрузке от оси 23 тс. Питание двигателей трехфазного тока осуществляется от преобразователя частоты с промежуточным контуром постоянного тока. Входной преобразова-

а



б

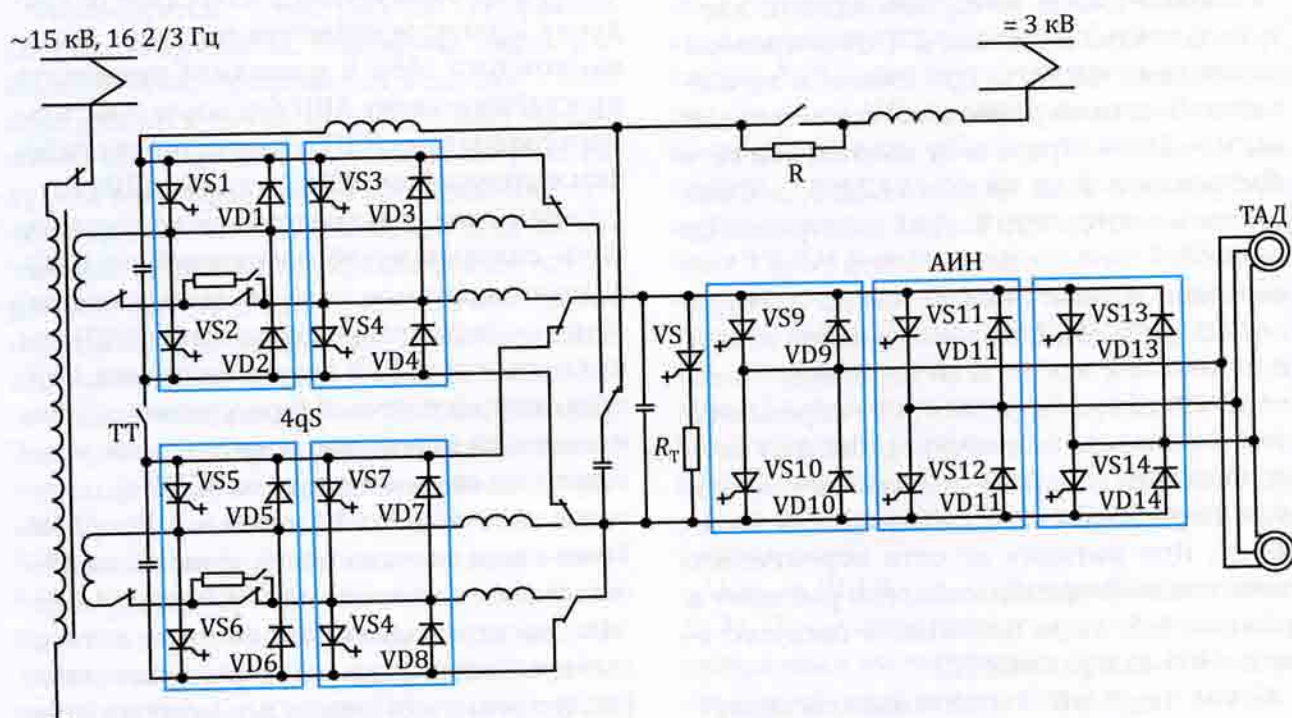


Рис. 14.22. Схема силовых цепей электроподвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями: а — одной тележки электропоезда постоянного тока серии 207 (ИП — импульсный преобразователь на запираемых (GTO) тиристорах); АИН — автономный инвертор напряжения на силовых (IGBT) транзисторах, включенный по трехточечной схеме); б — одной тележки двухсистемного электропоезда (ТТ — тяговый трансформатор; 4qS — четырехквadrантный преобразователь; АИН — автономный инвертор напряжения на GTO-тиристорах; ТАД — тяговые асинхронные двигатели; R_т — тормозной резистор)

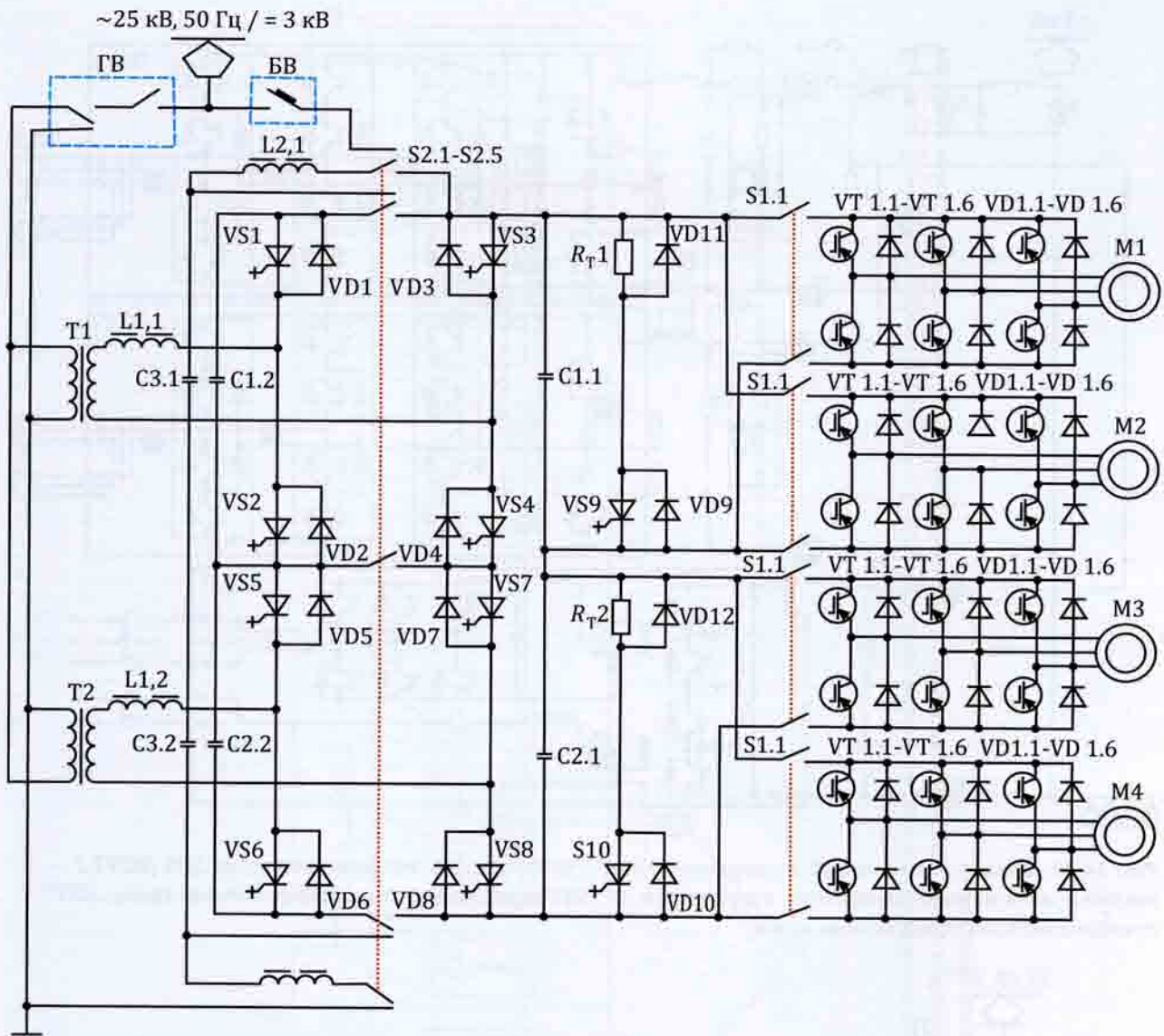


Рис. 14.23. Схема силовых цепей моторного вагона высокоскоростного электропоезда «Сокол» на две системы тока в контактной сети: ГВ, БВ — соответственно высоковольтные выключатели переменного и постоянного тока; Т1,2 — тяговый трансформатор; L1 — входной дроссель 4qS; L2 — входной дроссель импульсного преобразователя; C1—C3 — конденсаторы фильтра; VS1—VS8, VD1—VD8 — силовые модули входного преобразователя на GTO-тиристорах; R_{т1,2}, VD9—VD12, VS9, VS10 — цепи реостатного тормоза; S1 — отключатели АИН; S2 — переключатель рода тока; VT1—VT4, VD1—VD4 — силовые модули АИН на IGBT-транзисторах; М 1, 2, 3, 4 — тяговые асинхронные двигатели

тель выполнен в виде однофазного мостового выпрямительно-инверторного преобразователя (ВИП) с двухзонной системой регулирования выпрямленного напряжения и компенсатором реактивной мощности. Каждый двигатель питается от своего АИТ. Два таких АИТ питаются от одного ВИП. Каждый ВИП подключен к отдельной обмотке тягового трансформатора. Тяговый преобразователь электровоза ЭП200

выполнен на обычных однооперационных тиристорах с воздушным охлаждением.

Схема тягового преобразователя частоты и напряжения трехфазных двигателей одного моторного вагона высокоскоростного двухсистемного электропоезда «Аллегро» приведена на рис. 14.26.

Тяговый и вспомогательный преобразователи выполнены на IGBT-транзисторах и включают следующие компоненты:

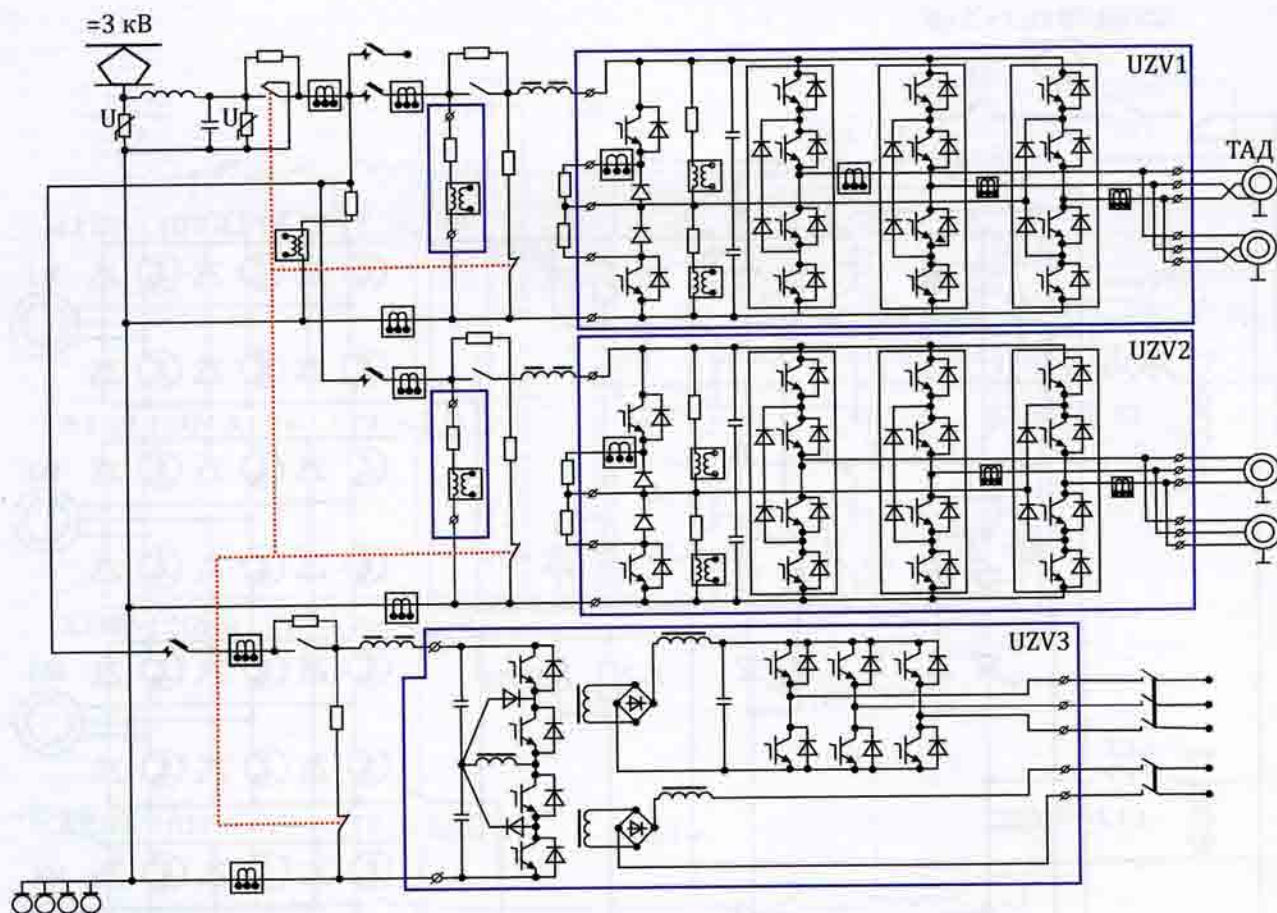


Рис. 14.24. Схема силовых цепей моторного вагона электропоезда постоянного тока ЭД6 (UZV1,2 — тяговые автономные инверторы напряжения на IGBT-транзисторах по трехточечной схеме; UZV3 — преобразователь собственных нужд)

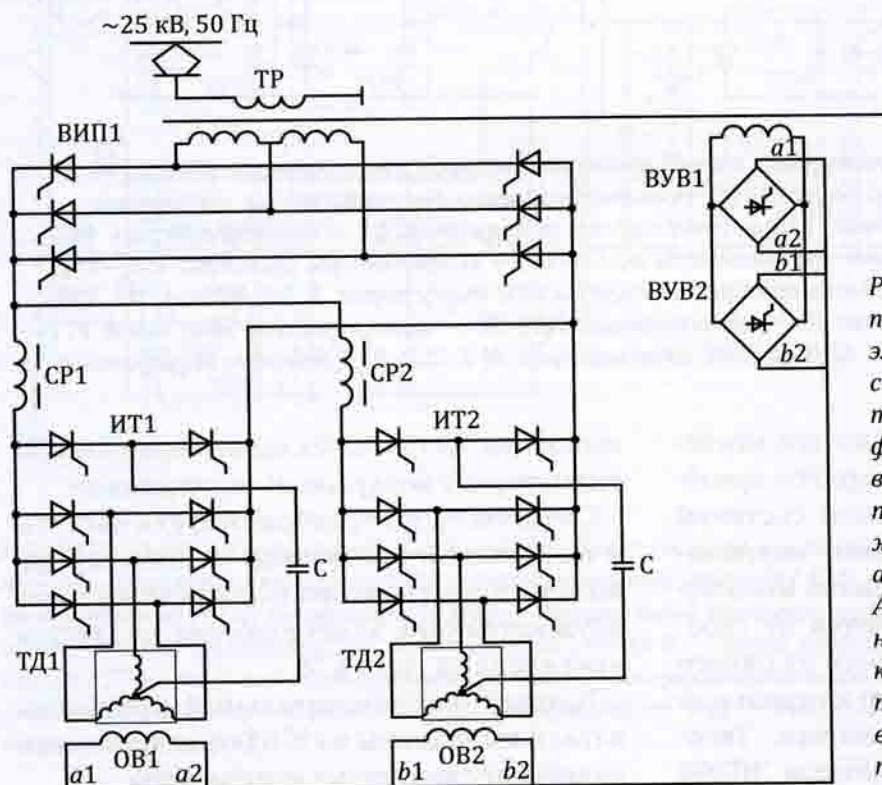


Рис. 14.25. Схема силовых цепей одной двухосной тележки электровоза переменного тока с синхронными тяговыми двигателями: ТР — тяговый трансформатор; ВИП1 — входной выпрямительно-инверторный преобразователь; СР1,2 — сглаживающие реакторы; ИТ1,2 — автономные инверторы тока АИТ; ТД1,2 — тяговые синхронные двигатели; ОВ1,2 — обмотки возбуждения тяговых двигателей; ВУВ1,2 — управляемые выпрямители цепей возбуждения тяговых двигателей

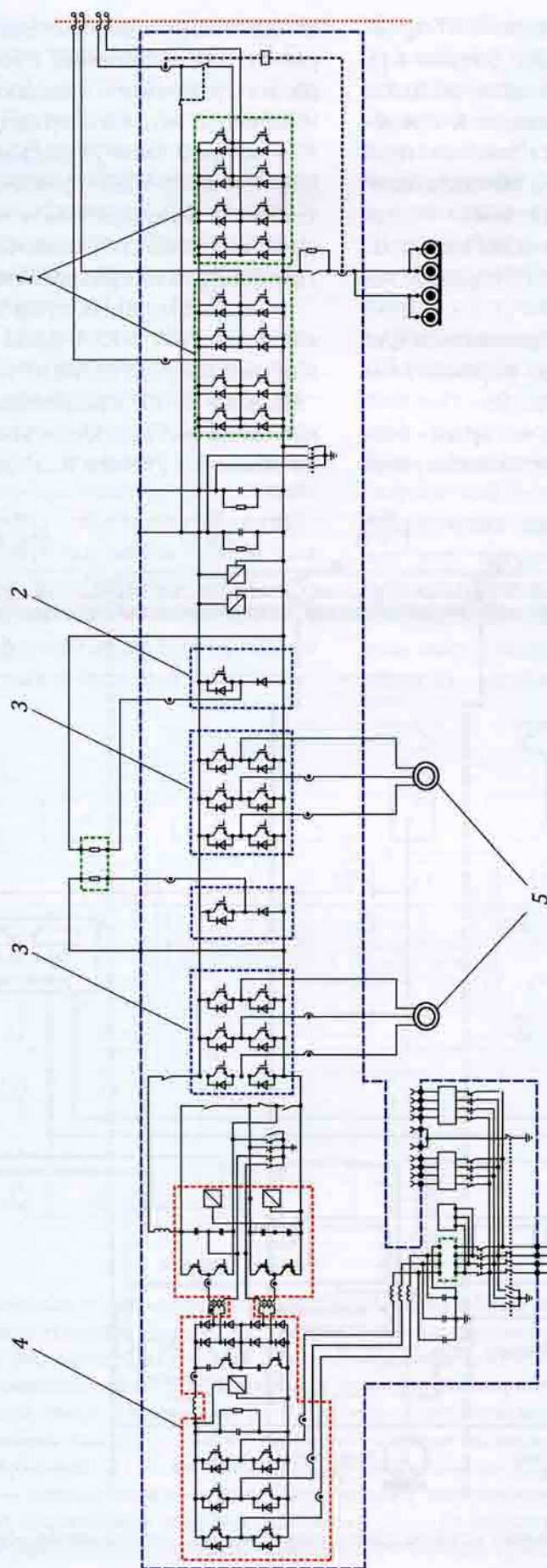


Рис. 14.26. Электрическая схема тягового преобразователя высокоскоростного электропоезда «Allegro»: 1 — четырехквadrантные (4qS) входные преобразователи; 2 — тормозной прерыватель; 3 — автономные инверторы напряжения; 4 — преобразователь вспомогательный для питания потребителей собственных нужд; 5 — тяговые асинхронные двигатели

– входной преобразователь на IGBT-транзисторах 600 А, 6500 В из двух блоков 4qS, питающихся от двух вторичных обмоток тягового трансформатора (входной преобразователь через звено постоянного тока и два автономных инвертора обеспечивает питание двух тяговых двигателей);

– два трехфазных автономных инвертора двухуровневого типа на IGBT-транзисторах 600 А, 6500 В;

– вспомогательный преобразователь для питания собственных нужд переменным током 50 Гц, напряжение 400 В;

– блок управления тягой, который обеспечивает управление IGBT-транзисторами

входного преобразователя, тормозных прерывателей и тяговых инверторов для задания требуемого вращающего момента и мощности тягового привода;

– второй блок управления, контролирующей работу IGBT-транзисторов вспомогательного преобразователя, обеспечивающего питание собственных нужд системы трехфазным напряжением 400 В, 50 Гц;

– два тормозных прерывателя на транзисторах IGBT 600 А, 6500 В, обеспечивающие режим реостатного торможения.

На рис. 14.27 представлена электрическая схема высокоскоростного электропоезда «Сапсан» (Velaro Rus) двойной системы

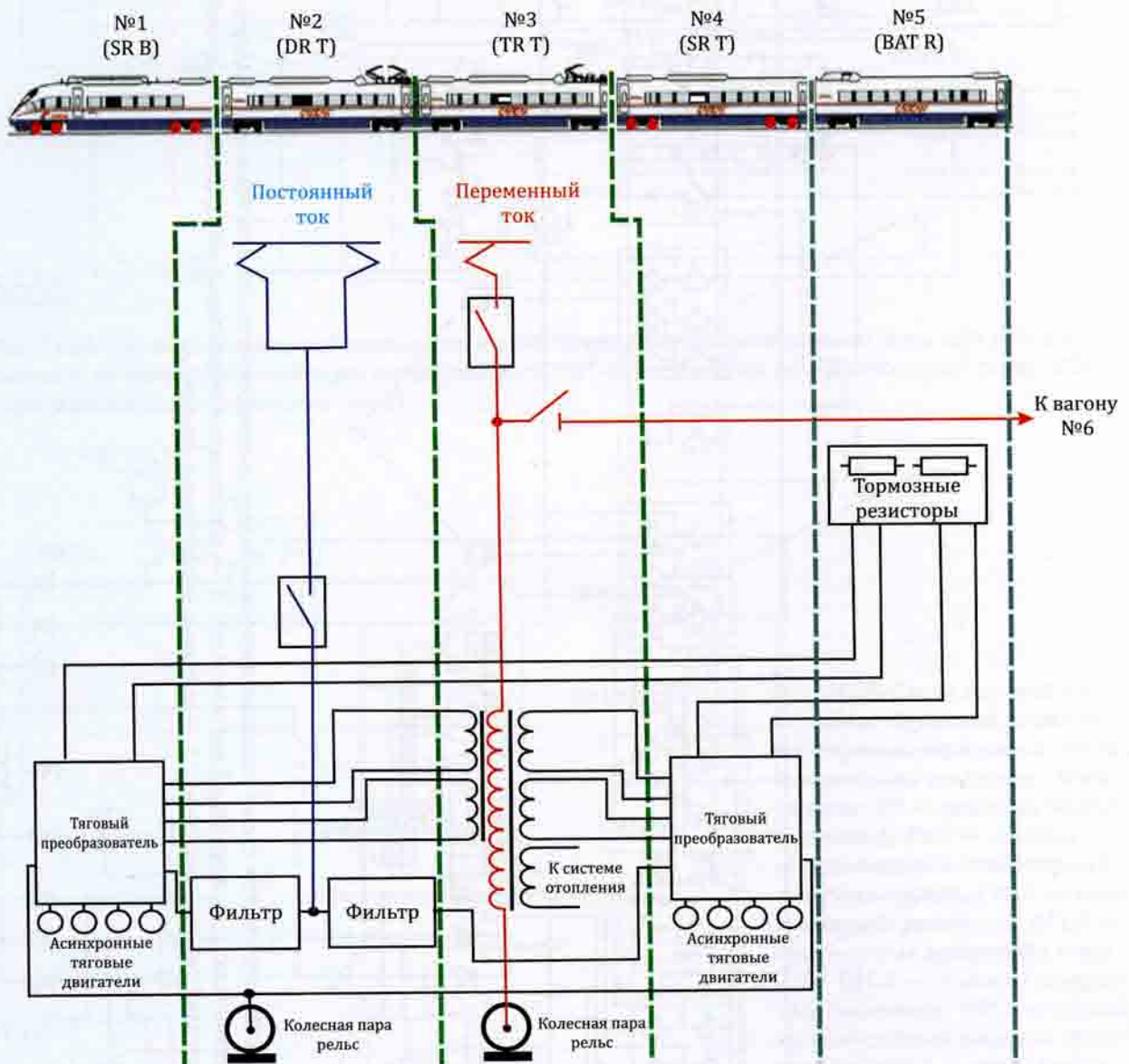


Рис. 14.27. Электрическая схема пяти вагонов высокоскоростного электропоезда «Сапсан» двойной системы питания (тип B2)

питания (постоянным током напряжением 3 кВ и переменным током частотой 50 Гц, напряжением 25 кВ) — тип В2, изготовленного компанией Siemens для железных дорог России. На рисунке показана схема пяти вагонов, схема вторых пяти вагонов десяти-вагонного поезда аналогична. Схема преобразовательного тягового оборудования одного моторного вагона двухсистемного поезда «Сапсан» показана на рис. 14.28.

Обязательным элементом силовой электрической схемы высокоскоростного подвижного состава, предназначенного для эксплуатации на линиях электрифицированных на переменном токе является главный трансформатор, предназначенный для снижения электрического напряжения контактной сети до величины, необходимой для питания тягового преобразователя и других потребителей.

Главный трансформатор является одним из самых массивных и больших по габари-

там устройств электроподвижного состава, что создает определенные трудности при его размещении с учетом распределения нагрузки по осям и центровки локомотива или вагона. На рис. 14.29 и 14.30 представлены главные трансформаторы электровоза высокоскоростного поезда AVE серии 100 (Испания) и моторного вагона высокоскоростного поезда серии 100 (Япония) в комплекте с устройствами охлаждения, демонтированные с подвижного состава.

В большинстве случаев вдоль высокоскоростных электропоездов (обычно по крыше), прокладывается высоковольтный кабель, обеспечивающий подачу питания от контактной сети через один поднятый токоприемник на электрическое оборудование всех вагонов или соединяющий высоковольтные сети электровозов, в случае их размещения по концам поезда. Межвагонные высоковольтные соединители должны обладать необходимой механической проч-

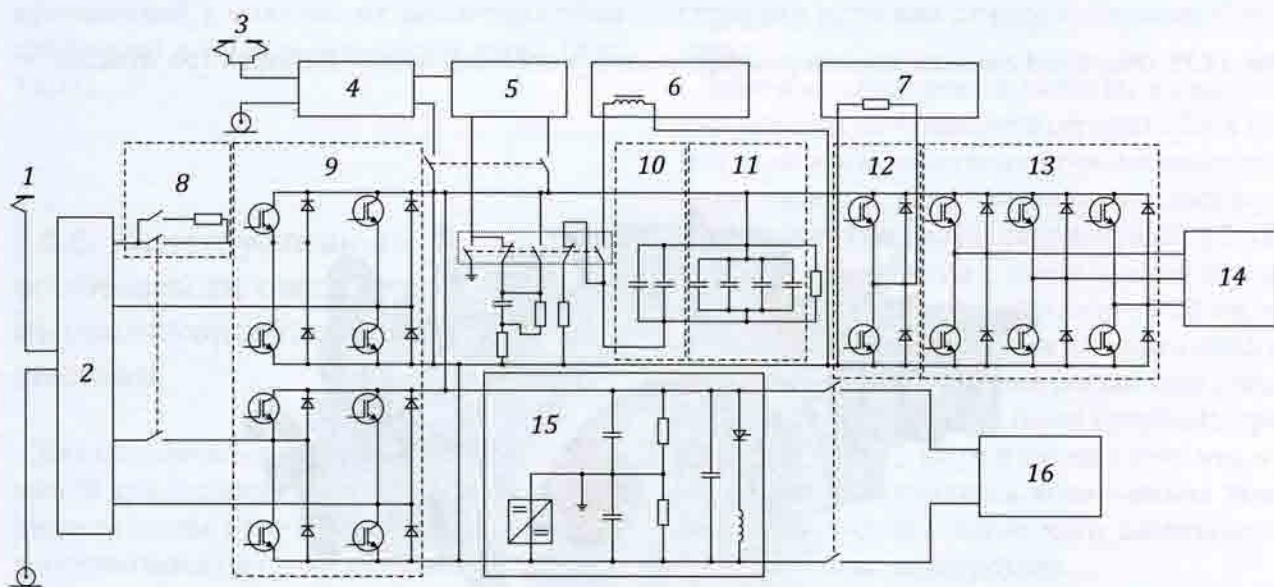


Рис. 14.28. Схема тягового преобразовательного оборудования одного моторного вагона поезда двойной системы питания «Сапсан» (тип В2): 1 — токоприемник переменного тока; 2 — главный трансформатор (один на два моторных вагона); 3 — токоприемник постоянного тока; 4 — контейнер с оборудованием постоянного тока; 5 — контейнер сетевого фильтра постоянного тока; 6 — контейнер дросселя фильтра второй гармоники; 7 — тормозное сопротивление; 8 — контур предварительной зарядки переменного тока; 9 — два четырехквadrантных преобразователя; 10 — конденсаторы фильтра второй гармоники; 11 — конденсаторы промежуточного тягового контура; 12 — тормозной регулятор; 13 — автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией; 14 — четыре трехфазных асинхронных тяговых двигателя; 15 — устройство распознавания замыкания на землю; 16 — преобразователь системы питания собственных нужд

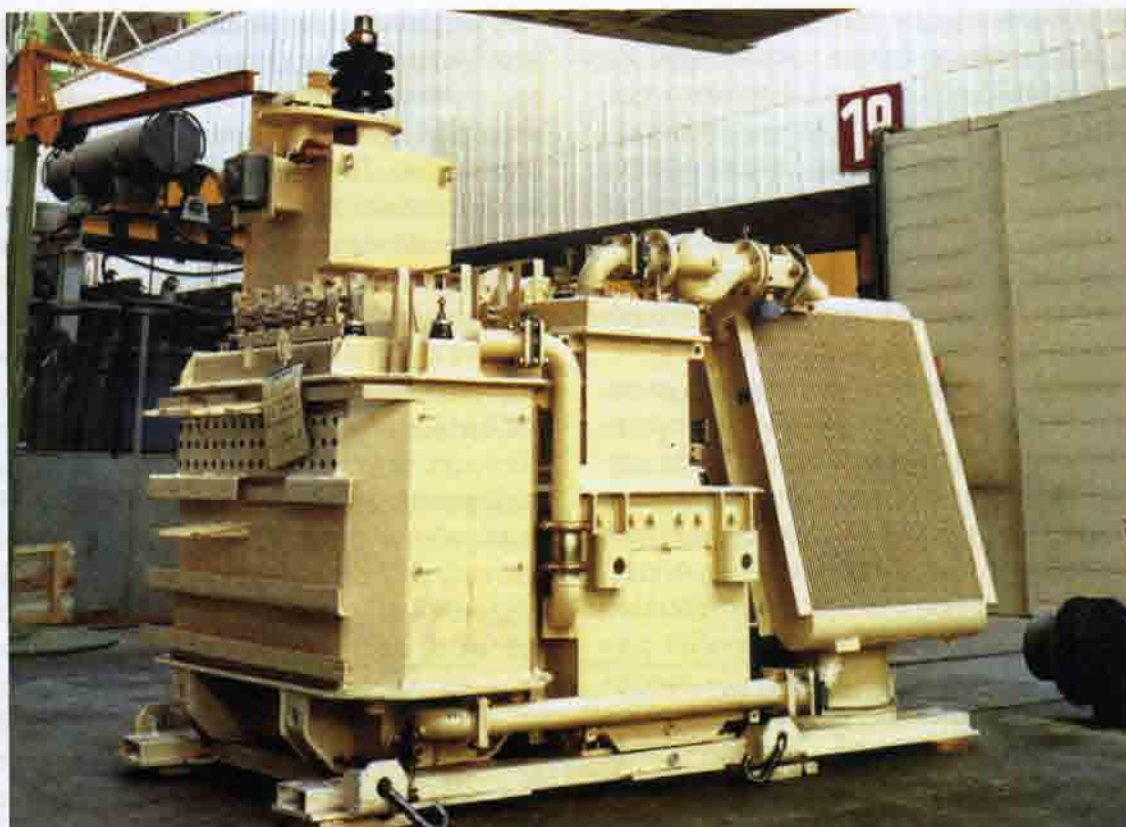


Рис. 14.29. Общий вид главного трансформатора высокоскоростного поезда AVE серии 100. Испания

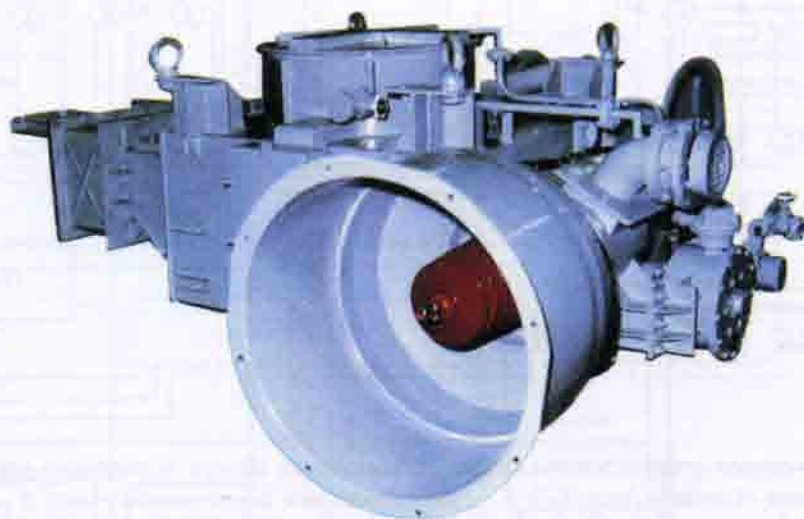


Рис. 14.30. Общий вид главного трансформатора мощностью 2500 кВА высокоскоростного поезда серии 100. Япония

а



б



Рис. 14.31. Межвагонные кабельные соединения (включая высоковольтные), высокоскоростных поездов: а — поезд «Аллегро» (Франция для России и Финляндии); б — поезд серии 300 (Япония)

ностью, а при конструкционной скорости поезда более 250—300 км/ч также удовлетворять аэродинамическим требованиям, не создавая излишней турбулентности воздушного потока на большой скорости, приводящей к излишнему сопротивлению движению поезда и генерации шума (рис. 14.31).

14.6. Конструктивные особенности токоприемников высокоскоростного подвижного состава

Для обеспечения высокоскоростного движения при скоростях более 200 км/ч на подвижной состав с контактной сети необходимо с помощью одного или нескольких токоприемников подать электрическую энергию суммарной мощностью до 20 000 кВт. Сделать это при системе тяги постоянного тока напряжением 1,5 или 3 кВ представляется затруднительным. При питании переменным током напряжением 25 кВ найдены вполне удовлетворительные конструктивные решения.

Первые скоростные испытания электрического подвижного состава, проводивши-

еся в Германии на рубеже XIX—XX веков (Цоссенские эксперименты) показали, что вопросу передачи энергии на движущийся электровоз или электровагон необходимо уделять не меньшее внимание, чем конструкции пути или самого подвижного состава.

Опытные скоростные поездки на железных дорогах во Франции в середине 50-х годов прошлого века окончательно подтвердили вывод о том, что питание постоянным током, тем более, напряжением 1,5 кВ, не имеет перспектив с точки зрения повышения скорости движения более 200 км/ч. Во время опытной поездки 25 марта 1955 г. повышение скорости поезда в составе электровоза и трех вагонов было прервано при достижении 331 км/ч в связи с тем, что от перегрева расплавилась токосъемная контактная пластина, после чего разрушился токоприемник электровоза.

Как отмечалось в п. 10.10 (1 часть, 10 глава) систему «контактный провод — токоприемник» необходимо рассматривать комплексно, обращая внимание на конструктивные характеристики токоприемника по условиям динамики взаимодействия в указанной системе. Остановимся на некоторых других конструктивных особенностях устройств передачи энергии из контактной сети на подвижной состав при высокоскоро-

стном движении, исходя из необходимости учета группы факторов, в частности:

- требования выбора материала контактной пары и необходимой чистоты контактной поверхности для передачи достаточной мощности;
- обеспечения безопасного движения токоприемника относительно контактного провода с учетом его положения относительно рельсов;
- необходимости учета динамических процессов в системе «токоприемник — контактный провод» для обеспечения свободного перемещения токоприемника;
- износа контактного провода и вставок, который определяется силой нажатия токоприемника, током и процессом образования электрической дуги.

В зависимости от особенностей устройства контактной подвески на европейских железных дорогах разных стран ширина рабочей зоны полоза токоприемника изменяется в пределах от 1950 мм (Германия, Испания) до 1450 мм (Швейцария, Франция). На рис. 14.32 приведены основные геометрические параметры полоза токоприемника в плоскости, перпендикулярной оси пути.

Задача создателей японских высокоскоростных поездов, впервые начавших проектировать специализированный подвижной состав для ВСМ в середине 50-х годов прошлого века, была несколько облегчена тем, что электрификация японских магистралей Синкансэн осуществлялась на переменном токе напряжением 25 кВ. Были также

приняты жесткие нормы на проектирование контактной сети с малым допуском изменения высоты контактного провода над уровнем головки рельсов: 4800—5100 мм. Это позволило уменьшить конструктивные размеры токоприемника и соответственно его эквивалентную (приведенную) массу. Приведенная (эквивалентная) масса токоприемников представляет собой условную массу, сосредоточенную в точке соприкосновения полоза и контактного провода и оказывающую такое же воздействие на контактную подвеску, как и токоприемник. Приведенная масса токоприемника зависит от массы всех его элементов (подвижных рам, полоза, кареток, и пр.), а также от упругих качеств кареток и вынужденной частоты колебаний полоза при движении токоприемника вдоль контактной подвески. Конструкция токоприемника, разработанная для первого японского высокоскоростного поезда серии 0, оказалась весьма удачной и с небольшими изменениями использовалась на последующих сериях японских высокоскоростных поездов (рис. 14.33).

Более трудную задачу по конструированию токоприемника для подвижного состава, рассчитанного на скорость движения 200 км/ч, необходимо было решить в 60-е годы XX столетия советским инженерам и ученым при создании высокоскоростного поезда ЭР200. Сложность задачи определялась тем, что этот поезд предназначался для линии Ленинград—Москва, электрифицированной на постоянном токе напря-

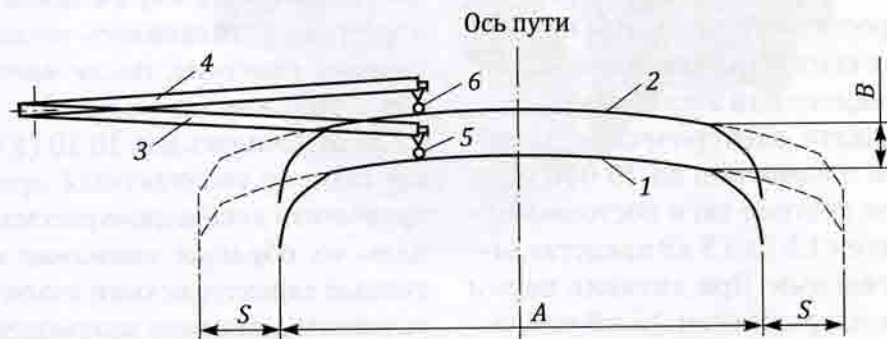
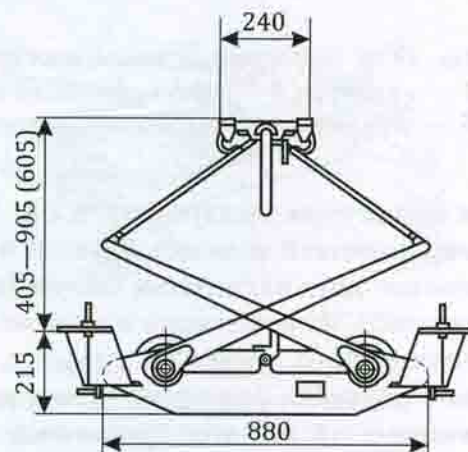
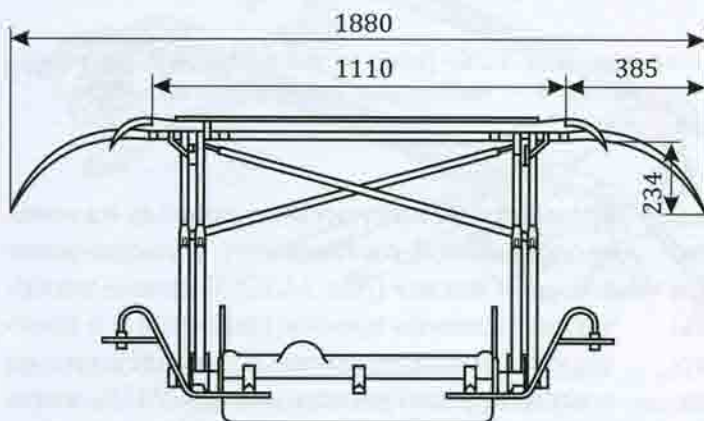


Рис. 14.32. Основные геометрические параметры токоприемника: A — ширина полоза; B — отжатие контактного провода; S — отклонение кузова подвижного состава; 1 — исходное положение токоприемника; 2 — положение токоприемника при отжатии контактного провода; 3, 4 — положение фиксатора; 5, 6 — положение контактного провода

а



б



в

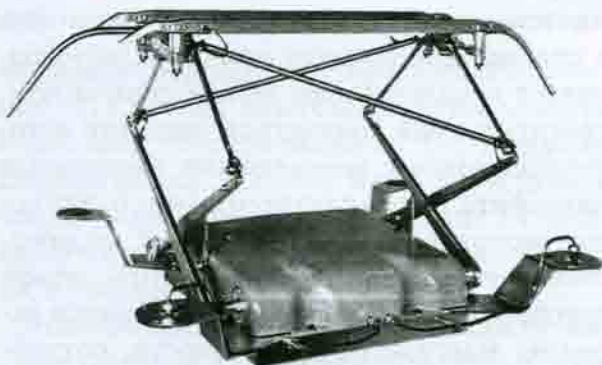


Рис. 14.33. Токоприемники первых японских высокоскоростных поездов: а и б — серии 0 (1964 г.) общий вид и основные размеры; в — общий вид токоприемника поезда серии 300 (1992 г.)

жением 3 кВ, а также тем, что по нормам железных дорог СССР принята большая разница высот подвески контактного провода над уровнем головки рельсов на различных участках железной дороги.

В результате исследований, выполненных во Всесоюзном научно-исследователь-

ском институте железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) совместно с другими организациями, а также большого комплекса опытно-конструкторских работ, был создан авторегулируемый токоприемник пантографного типа ТСП-1М (рис. 14.34), который использовался на электропоезде ЭР200



Рис. 14.34. Токоприемник электропоезда ЭР200 и электровоза ЧС200 (одна из последних модификаций): 1 — изолятор; 2 — кожух механизма подъема; 3 — полз; 4 — подвижные рамы верхней системы; 5 — подвижные рамы нижней системы; 6 — блокировка; 7 — основание

и скоростном электровозе ЧС200. Технической новинкой являлось наличие в токоприемнике двух подвижных систем (верхней и нижней). На небольшие изменения высоты контактного провода в пролетах контактной подвески реагирует не вся масса подвижных частей токоприемника, а только его верхняя подвижная система. На существенные изменения высоты контактного провода, например, при проходе под искусственными сооружениями, реагируют обе подвижные системы, причем верхняя система управляет нижней посредством пневматической связи.

На ряде европейских высокоскоростных поездов, в частности, выпускаемых компанией Alstom, получили применение универсальные токоприемники типа CX, предназначенные для линий постоянного тока напряжением 1,5 кВ и 3 кВ, переменного тока напряжением 25 кВ, 50 Гц и 15 кВ, 16 $2/3$ Гц (см. 1 часть, п. 10.10, рис. 10.39). Эти токоприемники устанавливаются на поездах TGV 2N, TGV Thalys, обеспечивая передачу необходимой энергии на скорости до 300 км/ч.

Конструкционные особенности и детали современных устройств для передачи элек-

троэнергии с контактного провода на электроподвижной состав имеет токоприемник поезда «Сапан» (рис. 14.35). Похожие технические решения просматриваются и в конструкции токоприемника, установленного на опытном французском поезде V150, который показал рекорд скорости 574,8 км/ч.

Применение переменного тока высокого напряжения существенно облегчает динамическое взаимодействие токоприемника и провода при высоких скоростях, обуславливает использование легкой цепной компенсированной контактной подвески и токоприемников с контактными накладками из графита. В этом случае создание надежного токоприемника на ток 1000 А не представляет серьезных проблем. При одном токоприемнике в поезде обеспечивается передача максимальной мощности, потребляемой высокоскоростными поездами. Наиболее благоприятной контактной парой является комбинация медного провода и угольной вставки токоприемника.

При постоянном токе в большинстве случаев на токоприемнике используются медные вставки. Это обеспечивает допустимый ток 2500 А на один токоприемник. Однако уже при скорости 250 км/ч значение тока

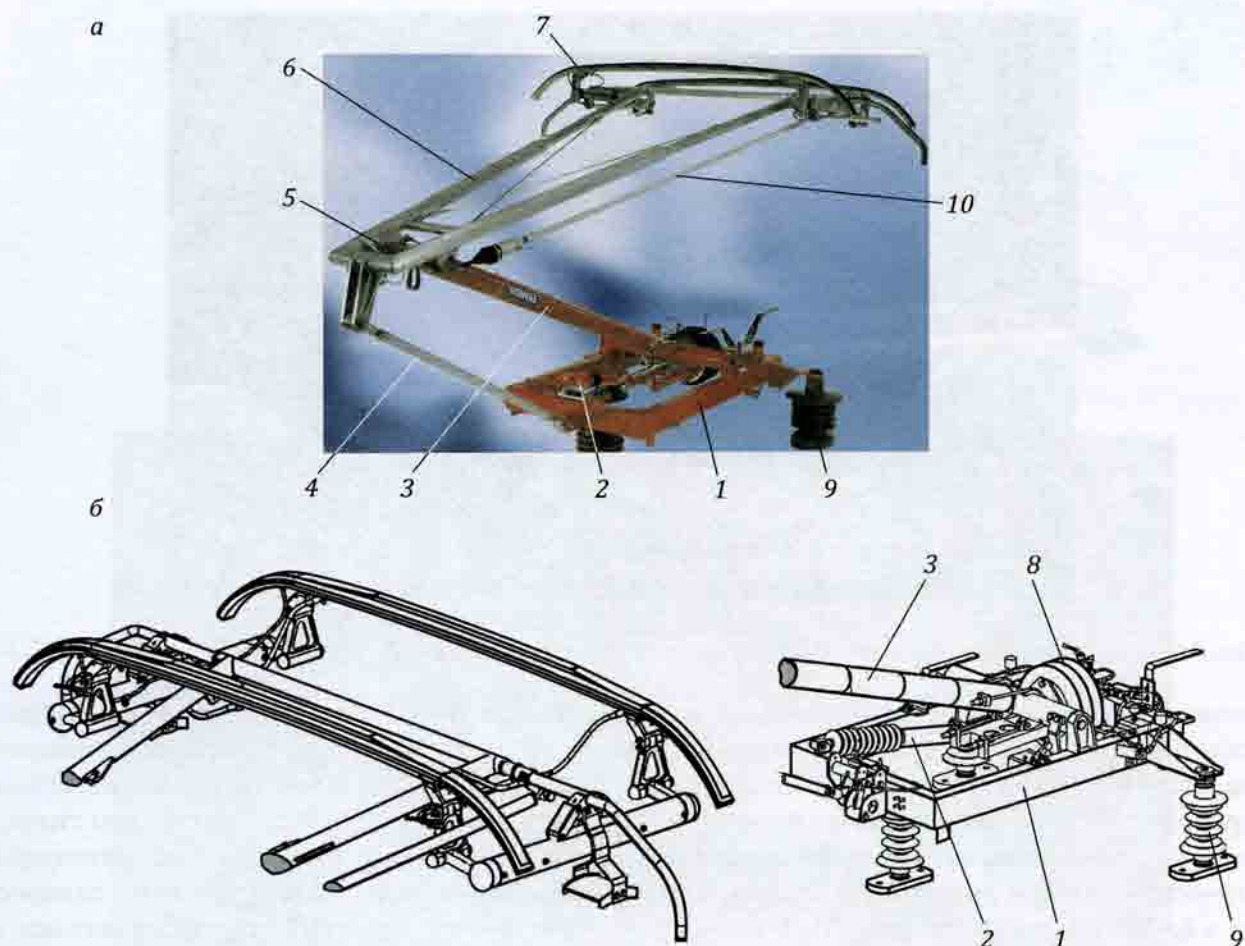


Рис. 14.35. Токоприемник электропоезда «Сапсан» со сменными элементами для постоянного или переменного тока и чертеж: а — общий вид; б — увеличенный фрагмент сборочного чертежа; 1 — опорная рама; 2 — демпфер; 3 — нижний рычаг; 4 — соединительная тяга; 5 — колено; 6 — верхнее колено; 7 — полз; 8 — поднимающий привод; 9 — штыревой изолятор; 10 — параллельная направляющая штанга

оказывается недостаточным для обеспечения тяги поезда. Необходимо использовать несколько токоприемников, что ухудшает динамические условия взаимодействия с контактным проводом и приводит к сокращению срока службы и контактного провода, и токоприемника.

Токоприемники с металлическими вставками тяжелые и создают неблагоприятные динамические воздействия на контактную сеть при высоких скоростях. Поездки подвижного состава с такими токоприемниками по линиям, где постоянно используются угольные вставки, приводят к разрушению образовавшегося при окислении металла контактного провода патинового слоя, что влечет за собой быстрый износ и угольных вставок, и контактного провода.

На высокоскоростном подвижном составе, рассчитанном на два рода тока, как правило, предусмотрено два токоприемника: для переменного и постоянного тока, предназначенных для разных его величин и имеющих в силу этого отличия в конструкции. Так, например, два комплекта токоприемников установлены на используемых в России высокоскоростных поездах «Сапсан» и «Аллегро», эксплуатирующихся на линиях, электрифицированных на постоянном токе напряжением 3 кВ и переменном токе напряжением 25 кВ.

При разработке токоприемников для высокоскоростного движения необходимо учитывать аэродинамическое взаимодействие ползца и других элементов конструкции с набегающим воздушным потоком. Возника-



Рис. 14.36. Токоприемник телескопического типа высокоскоростного поезда серии 500. Япония. 1997 г.

ющая подъемная сила (положительная или отрицательная) может существенно влиять на взаимодействие полоза с контактным проводом. Особенно неблагоприятными являются проявления асимметрии аэродинамических сил при движении токоприемника в одну или другую сторону. Их приходится уравнивать, вводя в конструкцию дополнительные элементы, взаимодействующие с воздушным потоком.

Для поиска оптимальной конструкции токоприемников проводятся комплексные исследования с применением аэродинамических труб, натурных образцов, испытываемых на поездах или специально оборудованных гоночных автомобилях, как это делалось в Японии при экспериментах с токоприемниками поездов серии 500. Токоприемник поезда серии 500 (1994 г.), необычной конструкции, имеет одну вертикальную телескопическую (состоящую из труб, вставленных одна в другую) подъемную опору, причем ее верхняя часть представляет собой своеобразную каретку, на которой укреплен полоз (рис. 14.36). Механизм с упругим элементом соединяет полоз с системой подвижных рам токоприемника.

При конструировании токоприемников помимо чисто утилитарных проблем передачи энергии на подвижной состав необходимо решать и задачи, связанные с охраной

окружающей среды. Токоприемник высокоскоростного поезда при скоростях движения около 300 км/ч является одним из основных источников шума. С целью его снижения практикуют установку в зоне токоприемника обтекателей, значительно снижающих турбулентность воздушного потока, а, следовательно — генерацию шума.

Японские разработчики высокоскоростных поездов значительно продвинулись в последнее десятилетие в создании токоприемников, обладающих высокими качествами, как по надежности токосъема, так и существенного снижения уровня генерируемого шума при скоростях около 300 км/ч. Одна из последних разработок — так называемые «одноштанговые» конструкции (от англ.: single arm). Несколько видов таких токоприемников, в частности, токоприемники типа PS 9037 и PS9038, были испытаны в последние годы на опытных японских высокоскоростных поездах «Fastech-360Z» и «Fastech-360S». Конструкция токоприемники типа PS9038 интересна тем, что большая часть подъемной штанги токоприемника скрыта кожухом-обтекателем (рис. 14.37).

С учетом результатов испытаний указанных опытных конструкций японская компания «Тойо Денки» начала производство малозумящих токоприемников типа PT169 (рис. 14.38), устанавливаемых на новейших

а



PS 9037



PS 9038

б



Рис. 14.37. Одноштанговые токоприемники PS9037, PS9038 японских высокоскоростных поездов последних разработок: а — общий вид; б — токоприемник PS9037, установленный на крыше вагона поезда серии E5



Рис. 14.38. Токоприемник типа PT169. Япония. 2012 г.

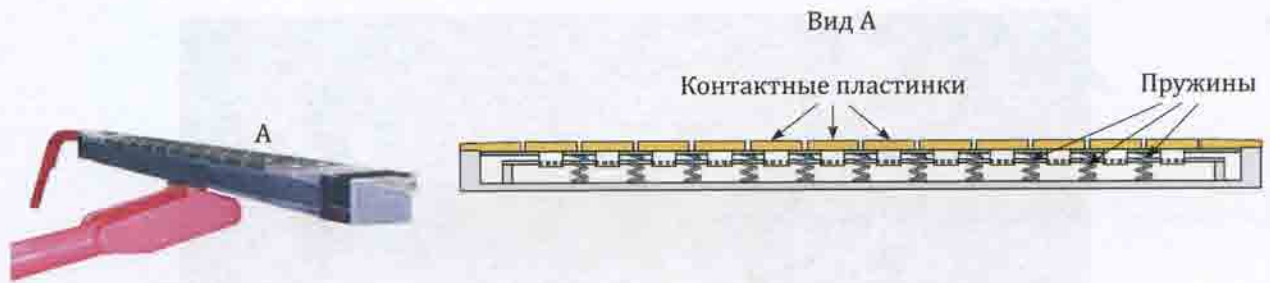


Рис. 14.39. Токоприемник с многосегментной контактной вставкой (вид А)



Рис. 14.40. Аэродинамические противозумовые экраны, прикрывающие токоприемники поезда серии E2. Япония

японских высокоскоростных поездах серии E5 и E6.

В настоящее время ведутся работы по созданию так называемых «многосегментных вставок» для токоприемников высокоскоростного подвижного состава, которые, по оценке разработчиков, должны улучшить динамическое взаимодействие токоприемника и контактной подвески. Суть технической идеи заключается в том, что контактная вставка выполняется в виде подпружиненных подвижных сегментов (рис. 14.39).

Несколько компаний в Японии и других странах проводят в настоящее время опыты с подобными конструкциями.

При всех успехах в области создания токоприемников, эти устройства являются самыми большими источниками шума поездов при скорости движения более 300 км/ч. В силу этого для высокоскоростного подвижного состава приходится конструировать максимально возможно прикрывающие токоприемник аэродинамические экраны (рис. 14.40).

Глава 15

Особенности тормозного оборудования и систем управления высокоскоростным подвижным составом

15.1. Тормозное оборудование высокоскоростных поездов¹

Поезда, предназначенные для движения со скоростью более 200 км/ч, оборудуются различными видами автоматических тормозов как по способу управления (пневматические, электропневматические, электрические), так и по способу создания тормозной силы — фрикционные (колодочные, дисковые, магниторельсовые) и динамические (электрические рекуперативные, электрические реостатные, также вихретоковые (дисковые и рельсовые) и аэродинамические (спойлерные)² (рис. 15.1).

Фрикционный тормоз, у которого специальные колодки с целью создания сопротивления движению прижимаются к поверхности катания колеса, так называемый «колодочный», длительное время оставался классическим для железнодорожного подвижного состава. Однако эта система оказалась непригодной для скоростей движения выше 160 км/ч. Дальнейшее увеличение мощности колодочных тормозов час-

то приводило к заклиниванию колесных пар и, как следствие, к движению юзом — скольжению колес, переставших вращаться. При этом сцепление колеса с рельсом резко падает. Кроме того, использование колодочных тормозов приводит к дополнительной тепловой нагрузке на поверхность катания колеса. Поэтому, как правило, колодочные тормоза не применяются в качестве основных на подвижном составе, предназначенном для скоростного и высокоскоростного движения. Тем не менее, есть и исключения. На современной мотор-

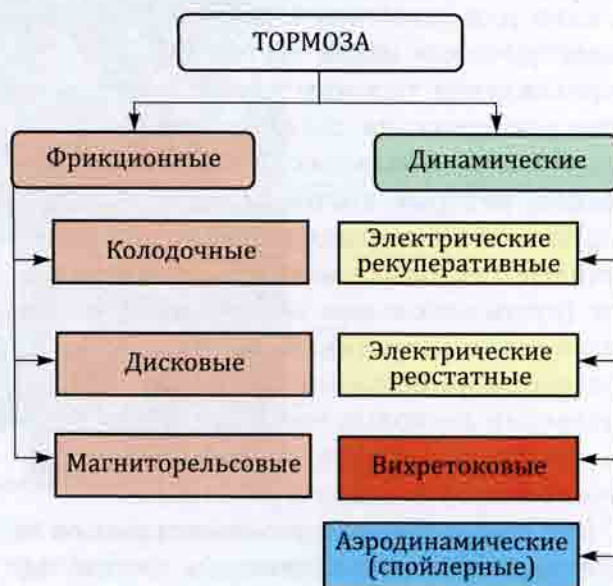


Рис. 15.1. Классификация тормозов скоростных и высокоскоростных поездов по способу создания тормозной силы

¹ В п. 15.1 использованы материалы совместных публикаций авторов с В.А. Рудаковой.

² Существуют и другие типы динамических тормозов, в частности, гидрокинетический, в котором торможение осуществляется специальными крыльчатками, укрепленными на вращающемся валу, погруженном в жидкость. Такой тормоз был использован на британском высокоскоростном поезде АРТ. В настоящее время на серийном подвижном составе такие тормоза не применяются.

ной моторной тележке вагона скоростного поезда, разработанной японской компанией «Хитачи», установлены колодочные тормоза. Тележка имеет внутренние буксовые узлы, что, видимо, и определило решение конструкторов по использованию колодочных тормозов, требующих несколько меньшего объема внутреннего пространства тележки, чем дисковые, что особенно актуально при необходимости размещения тягового двигателя и редуктора.

Дисковые тормоза являются разновидностью фрикционных тормозов (рис. 15.2). Момент трения в них создается в результате прижатия тормозных колодок к дискам, вращающимся вместе с затормаживаемой осью колесной пары. С помощью таких тормозов можно получать большой момент трения, при этом его можно увеличивать устанавливая большее число дисков. Кроме того, эти тормоза можно относительно легко защитить от окружающей среды (вплоть до полной герметизации, см. рис. 17.15). Вместе с тем, недостатком дисковых тормозов является как раз отсутствие при торможении трения колодок о поверхность катания колеса. Колодочные тормоза периодически очищают эту поверхность от грязи, в результате чего улучшается электрический контакт между колесом и рельсом, что важно для устойчивой работы рельсовых электрических цепей систем СЦБ, а также прохождения тягового тока. Известны случаи установки на тележках с дисковыми тормозами небольших металлических колодок, которые постоянно прижимаются пружиной к поверхности катания колеса и очищают ее. Безусловно, при этом возникает (пусть небольшое по величине), дополнительное сопротивление движению. По условиям реализации сцепления колес с рельсами дисковые тормоза применяются в обязательном сочетании с электронными противоюзными устройствами.

При использовании дисковых тормозов на высокоскоростном подвижном составе одним из самых распространенных в настоящее время является так называемый клещевой тормозной механизм (рис. 15.2), который в массовом порядке начали исполь-

зовать после успешного применения на первых японских высокоскоростных поездах Синкансэн серии 0 (1960 г.).

В последнее время перспективным направлением развития дисковых тормозов является использования объемных тормозных дисков, изготовленных из алюминиевого сплава (рис. 15.3), и накладок из синтетических материалов. Алюминиевые диски обеспечивают существенное снижение массы тормозного оборудования и, как отмечается в некоторых публикациях, уменьшение износа тормозных дисков и накладок. К их достоинствам относится также хорошая теплопроводность и рассеяние теплоты при ее отводе от контактных поверхностей к охлаждающим ребрам, что обуславливает снижение температурных напряжений и, соответственно, повышение прочности. Это в итоге дает заметную экономию эксплуатационных расходов в расчете на весь срок службы. Такие диски находят все большее применение на высокоскоростном подвижном составе, в частности, на высокоскоростных поездах ICE в Германии.

Однако объемные диски с охлаждающими каналами имеют недостаток — повышенное сопротивление движению. Объемные диски прогоняют через себя охлаждающий воздух, даже когда в этом нет необходимости. Все это, в конечном счете, создает «паразитный» тормозной эффект, который необходимо преодолевать двигателям поезда.

Фрикционные тормоза (колодочные и дисковые) при скоростях движения до 160 км/ч по силе сцепления колес с рельсами обеспечивают нормативный тормозной путь, однако уже при скорости поезда 200 км/ч на горизонтальном участке тормозной путь составляет 1800—1900 м. Тормозную силу, не зависящую от сцепления колес с рельсами, можно обеспечить применением магниторельсовых или вихревых тормозов.

Техническая идея магниторельсового тормоза заключается в том, что сопротивление движению создается тормозными башмаками, укрепленными на подвижном составе,

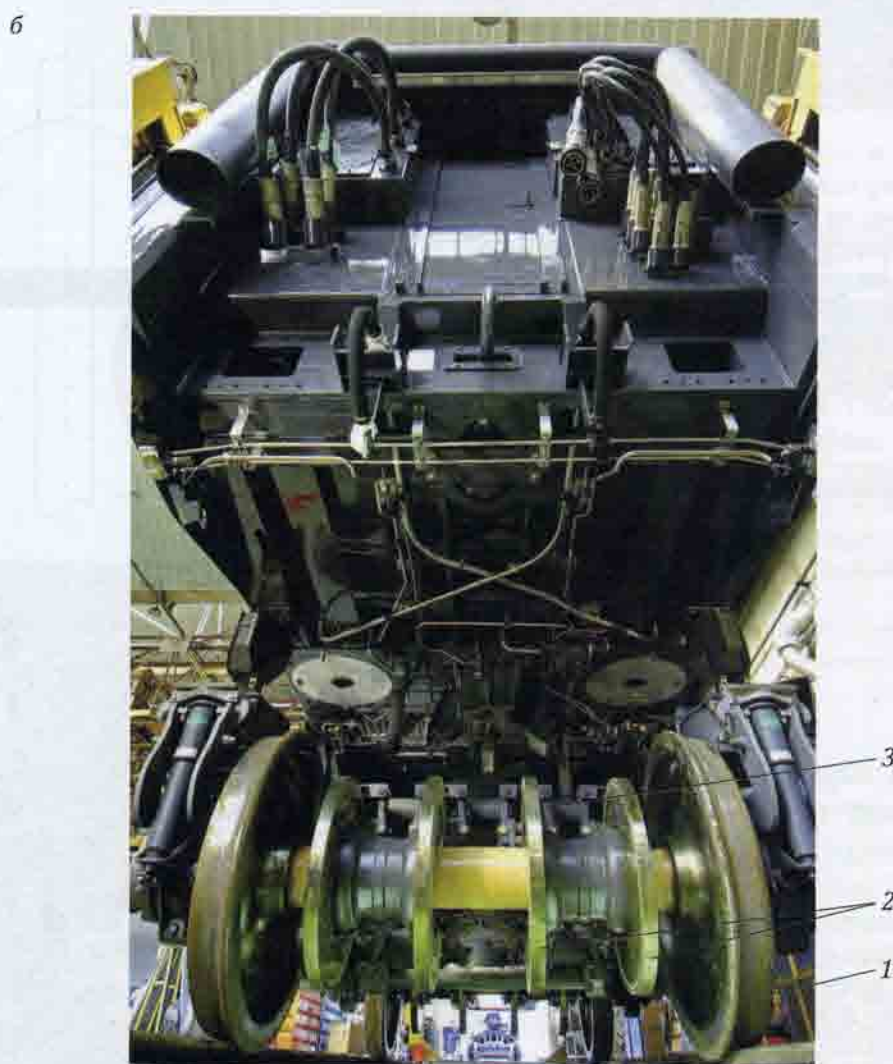
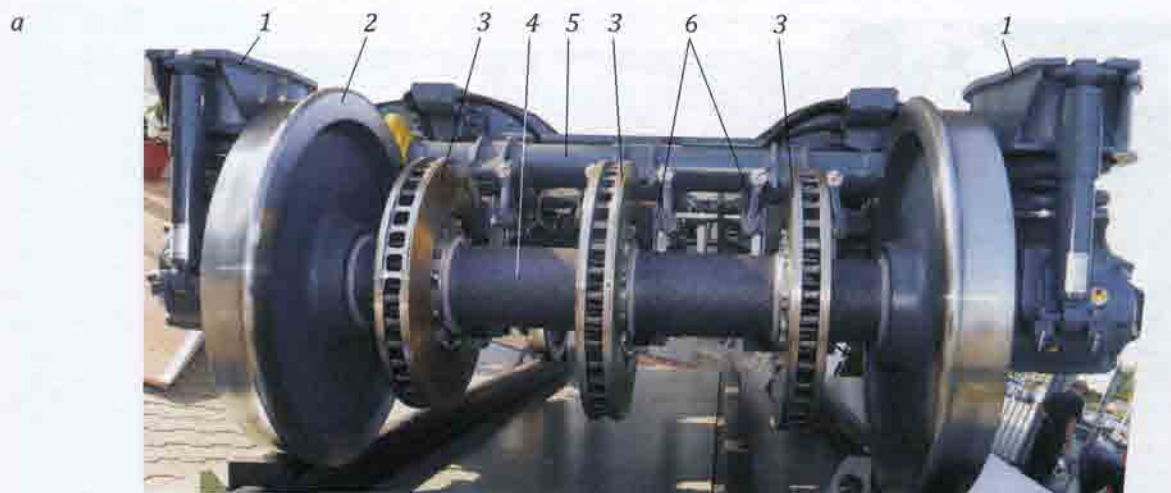


Рис. 15.2 (начало). Дисковые фрикционные тормоза: а — на поддерживающей тележке вагона высокоскоростного поезда с тормозными дисками на оси колесной пары: 1 — рама тележки; 2 — колесо; 3 — литые стальные тормозные диски с вентиляционными каналами; 4 — ось колесной пары, покрытая мастикой для защиты от ударов щебня; 5 — поперечная балка для крепления тормозного привода; 6 — элементы клещевого тормозного механизма; б — колесная пара 1 с тормозными дисками 2 на оси и клещевыми тормозными механизмами 3 вагона поезда TGV. Кузов вагона поднят (опытный поезд V150. Франция)

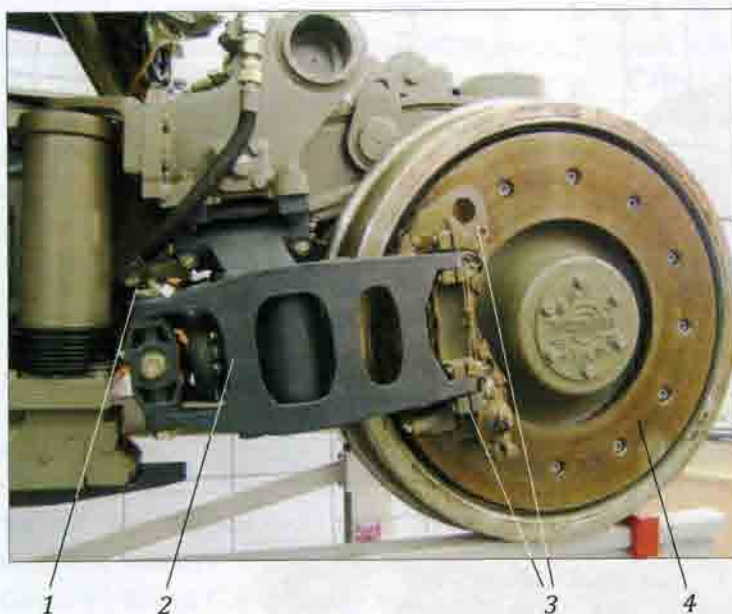


Рис. 15.2 (окончание): в — моторная тележка с тормозными дисками, укрепленными на колесах: 1 — тормозной цилиндр; 2 — «рукоятка клещей»; 3 — тормозные колодки; 4 — диск, укрепленный на колесе; г — схема, иллюстрирующая принцип действия механизма клещевого типа: 1 — тормозной цилиндр; 2 — воздух или жидкость под давлением; 3 — «рукоятки клещей»; 4 — тормозные колодки; 5 — ось колесной пары; 6 — тормозной диск

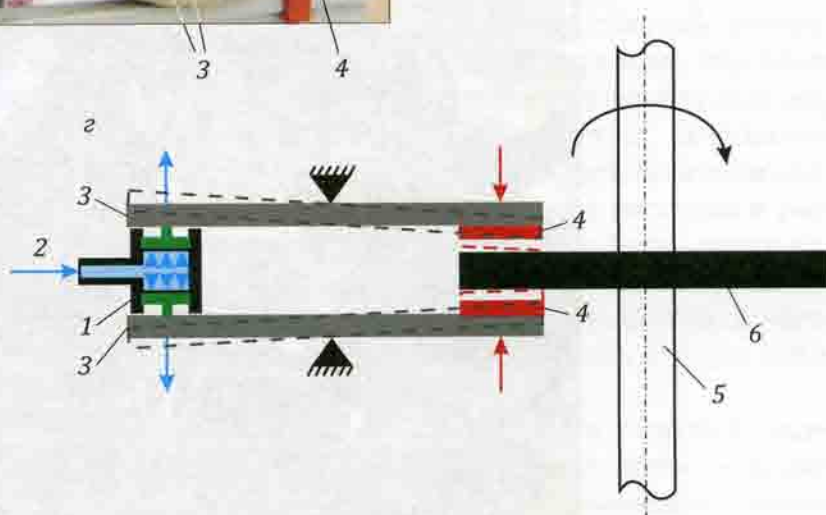
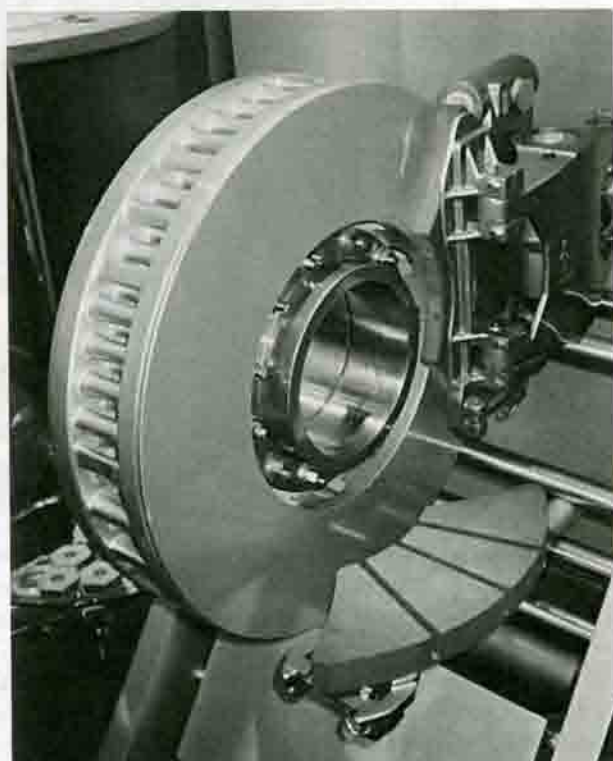


Рис. 15.3. Тормозной диск с вентиляционными пазами из алюминиевого сплава компании Knorr & Bremse, демонтированный с колесной пары



а



б

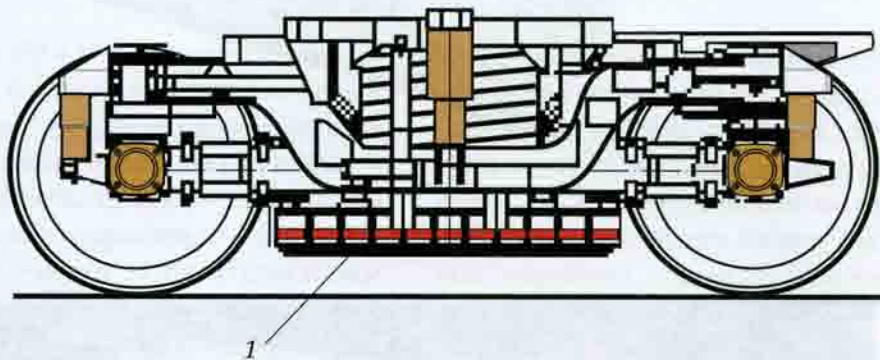


Рис. 15.4. Магниторельсовый тормоз на тележке скоростного вагона модели 68-4075/76 Тверского завода (Россия): а — общий вид; б — схематический чертеж; 1 — катушка электромагнита с тормозным башмаком (в отключенном положении)

которые с помощью магнитного поля, наведенного специальными индукционными катушками, прижимаются к головке рельса (рис. 15.4).

Магнитное поле таких тормозов создается с помощью электромагнитов. В последнее время разработаны магниторельсовые тормоза на постоянных магнитах, которые могут быть использованы и в качестве стояночных. Электромагниты для этой цели применять нельзя, поскольку емкость аккумуляторных батарей, питающих электрические обмотки тормоза, ограничена. В связи с тем, что магниторельсовый тормоз вызывает износ рельсов, его используют

совместно с колодочным или дисковым тормозом только в качестве аварийного для сокращения длины тормозного пути.

По данным испытаний, проведенных в ФРГ, при скорости движения 120 км/ч, тормозной путь при совместном применении магниторельсового и колодочного тормозов, сокращается примерно на 38 % по сравнению с тормозным путем с применением только колодочного тормоза.

При оборудовании подвижного состава магниторельсовым тормозом масса вагона увеличивается примерно на 5 %, на столько же возрастает и его стоимость; мощность электроэнергии, потребляемая для

питания магниторельсового тормоза, равна приблизительно 6 кВт на вагон.

Перспективной разработкой в области тормозных систем для железнодорожного транспорта является вихретоковый тормоз (рис. 15.5). Основой его конструкции явля-

ется башмак, представляющий собой ферромагнитный сердечник с обмоткой, подвешенный к тележке так, что расстояние от его нижнего края до головки рельса не превышает 5 мм. При подаче в обмотку башмака электрического тока создается электро-

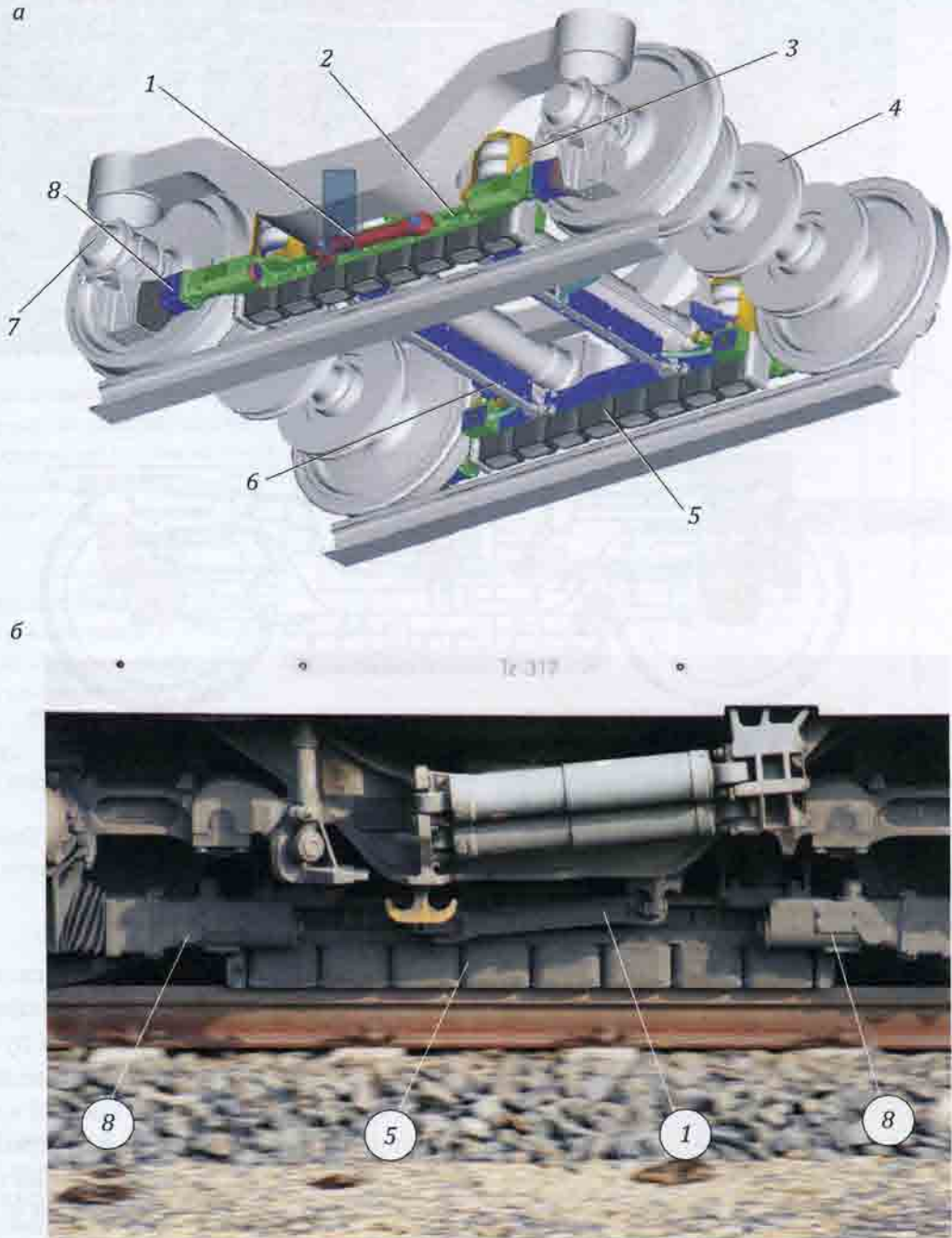


Рис. 15.5. Вихретоковый тормоз на поддерживающей тележке высокоскоростного электропоезда ICE3: а — схематическое изображение; б — укрупненное изображение вихретокового тормоза (во включенном положении): 1 — поводок для передачи тормозного усилия на раму тележки; 2 — жесткая рама катушки башмака вихретокового тормоза; 3 — подвеска вихретокового тормоза (пневмобаллон); 4 — диск фрикционного тормоза; 5 — катушки башмака вихретокового тормоза; 6 — поперечина для крепления компонентов дисковых тормозов; 7 — буksa; 8 — опора жесткой рамы башмака

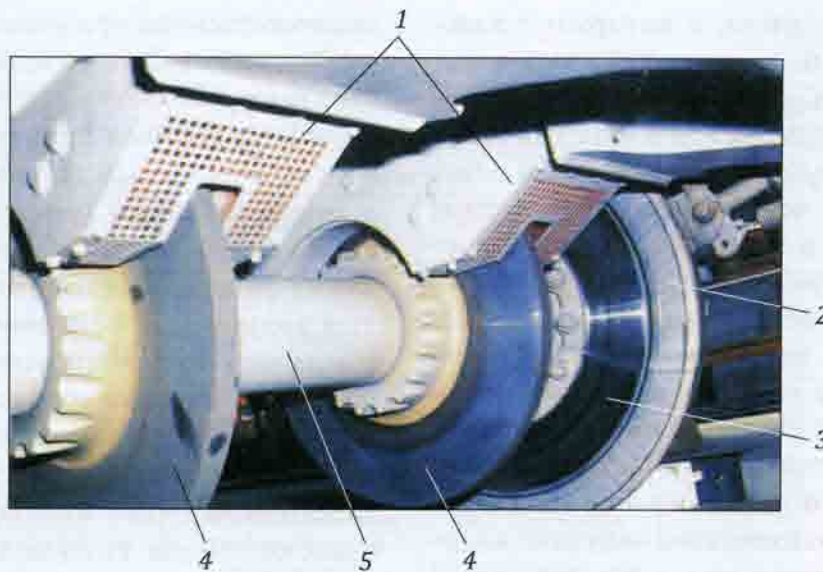


Рис. 15.6. Общий вид вихретоковых дисковых тормозов японского поезда серии 100: 1 — электрические тормозные катушки, прикрытые защитными кожухами; 2 — колесо; 3 — тормозной диск фрикционного тормоза, прикрепленный к колесу; 4 — тормозной диск вихретокового тормоза, насаженный на ось колесной пары; 5 — ось колесной пары

магнитное поле. При перемещении башмака вдоль рельса в нем наводятся вихревые токи (токи Фуко), создающие магнитные поля, которые, взаимодействуя с магнитным полем башмака, создают тормозной эффект. Крепление тормозного башмака постоянно обеспечивает зазор между ним и поверхностью головки рельса, поэтому механического взаимодействия между ними не происходит. Кинетическая энергия движущегося поезда превращается в тепловую энергию, выделяющуюся в рельсах, что является определенным ограничением использования этих тормозов. При электрическом токе в катушках тормозного башмака величиной 250—500 А тормозная сила достигает соответственно 2,5—8,0 кН.

Вихретоковый тормоз позволяет в широких пределах регулировать силу сопротивления движению путем изменения величины тока в катушках башмаков, работает без использования сил трения. Все другие системы значительно проигрывают в тормозной силе при торможении с высокой скоростью. Однако вихретоковый тормоз не лишен недостатка — его башмаки для увеличения тормозного эффекта необходимо подвешивать как можно ближе к головке рельса, так как тормозная сила уменьшается с увеличением зазора. Во избежание колеба-

ний в величине этого зазора при движении экипажа необходимо закреплять тормозной башмак на необрессоренных частях подвижного состава, что увеличивает динамические силы, воздействующие на путь при движении поезда. Масса башмаков вихретоковых тормозов составляет около 870 кг на одну тележку, что примерно в 1,7 раза больше массы обычных магниторельсовых. Кроме того, как отмечалось выше, в условиях интенсивного движения поездов ограничение на применение такого тормоза может быть наложено по уровню допустимого нагрева рельсов. В некоторых случаях необходимо также защищать напольное оборудование систем СЦБ от влияния сильных магнитных полей вихретокового тормоза.

Разновидностью рассмотренных тормозных систем является дисковый вихретоковый тормоз, который был, в частности, использован на японском высокоскоростном поезде серии 100 (1994 г.). На тележках прицепных вагонов поезда этой серии (рис. 15.6), в дополнение к электропневматическим фрикционным тормозам¹, были установлены вихретоковые дисковые тормоза: на каждой оси были укреплены по

¹ Тормозные диски на тележках поезда этой серии крепились непосредственно к колесам.

два тормозных диска, к которым с зазором около 1 мм были подведены укрепленные на специальных балках электромагниты. В режиме торможения в катушки электромагнитов подавался переменный электрический ток, возбуждавший магнитное поле, которым в тормозных дисках наводились токи Фуко. Наведенные вихревые токи вступали во взаимодействие с магнитным полем электромагнитов и вызывали тормозное усилие. Тормозные диски выполнялись из ковальной стали с высокой термической стойкостью. Между тормозными дисками и полюсами электромагнитов не было механического контакта, а следовательно, практически и не было износа этих тормозных устройств. Применение дополнительных вихревых тормозов в сочетании с электродинамическими и пневматическими фрикционными позволило обеспечить необходимую суммарную тормозную мощность поезда.

Отметим весьма изящное инженерное решение способа питания катушек электромагнитов указанного тормоза. Для их возбуждения в них подавалась электроэнергия, которую вырабатывали тяговые электродвигатели моторных тележек соседних вагонов поезда, переключаемые в режим электродинамического реостатного торможения, при этом нагрузочным сопротивлением для них как раз и являлись катушки электромагнитов.

На высокоскоростном подвижном составе широкое применение нашли электродинамические тормозные системы: реостатная и рекуперативная. И в том, и в другом случае кинетическая энергия движущегося поезда гасится с помощью перевода тяговых двигателей электровоза или моторного вагона в генераторный режим. Выработанная ими электроэнергия подается на тормозные резисторы и рассеивается в виде теплоты (реостатное торможение) или подается в контактную сеть и потребляется другими поездами, двигатели которых работают в данный момент в тяговом режиме (рекуперативное торможение).

Электродинамические тормозные системы применяют в качестве основных или

вспомогательных при совместном действии с фрикционными тормозами. Так, на японских высокоскоростных поездах в качестве основного тормоза применяются электрический реостатный (серия 100, 200, 400) и рекуперативный (серия 300, 700, N700, E2, E3, E4 MAX и др.). Причем сила торможения распределяется между электрическим тормозом и фрикционным таким образом, что последний используется минимально. Концепция совместного использования электродинамического торможения и фрикционных дисковых тормозов принята на французских высокоскоростных поездах семейства TGV (табл. 15.1), а также на отечественных электропоездах ЭР200 и опытном поезде «Сокол-250», дополнительно оснащенных аварийным магниторельсовым тормозом.

Тенденцией последних лет является объединение управления всеми тормозными устройствами высокоскоростных поездов единой компьютерной системой. На германских высокоскоростных поездах ICE3 (платформа «Velaro») и ICE-T используется совместно электродинамический рекуперативный и электропневматический дисковый тормоза. При служебном торможении сначала включается рекуперативный тормоз и только после него пневматический. Необмоторенные колесные пары этого поезда оснащены тремя напрессованными на ось тормозными дисками из чугуна со сфероидным графитом, обмоторенные — двумя, поскольку средняя часть оси занята тяговым редуктором. Комбинированная электронная система управления пневматическим тормозом соответствует международным стандартам (МСЖД) и допускает движение поезда без снижения скорости на электрическом управлении тормозами при выходе из строя электронной аппаратуры (рис. 15.7). В систему входит контроллер управления тягой, который осуществляет: управление силовыми цепями; вычисление допустимой температуры нагрева тяговых двигателей и элементов тормозной системы; мониторинг нагрева (измерение температуры) элементов тягового приво-

Тормозное оборудование поездов TGV

Серия подвижного состава и максимальная скорость	Тип тормоза		Дополнительные системы	
	Реостатный	Механический, фрикционный, дисковый		Электропневматическая защита для управления тормозами
		на моторных тележках	на прицепных тележках	
TGV PSE, (270 км/ч)	Есть	С чугунными колодками*	С чугунными колодками, чугунными дисками с композитными накладками	Есть
TGV PSE, (300 км/ч)	То же	С композитными колодками	Со стальными дисками со спеченными керамическими накладками	То же
TGV Atlantique, TGV PBKA (300 км/ч); TGV Réseau	—//—	С чугунными или композитными колодками*		—//—
TGV Duplex (320 км/ч)	—//—	Со стальными дисками со спеченными керамическими накладками		—//—

* В настоящее время заменяется композитными колодками.



Рис. 15.7. Комплексная электронная система управления тормозами поезда ICE3

да и тормозной системы; выключение питания магниторельсового тормоза при скорости менее 55 км/ч.

Поезд ICE-T оснащен вспомогательным магнитным рельсовым тормозом. В качестве стояночного используется тормоз с пружинным аккумулятором энергии. На высокоскоростном поезде ICE3 вместо магнито-

рельсового применен вихретоковый тормоз, смонтированный на всех немоторных тележках.

Для управления тормозами служит модуль, имеющий специальные устройства: включения магнитного тормоза; управление подъемом тормозного башмака; регулирования силы торможения в зависимости



Рис. 15.8. Опытный поезд Fastech 360 с выдвинутыми в рабочее положение крыльями спойлерных аэродинамических тормозов (Япония). 2005 г.

ти от скорости поезда; приборы постоянной диагностики и проверки состояния тормозной системы.

В последние годы возрос интерес к применению на высокоскоростном подвижном составе аэродинамических (спойлерных) тормозов. Их действие заключается в создании дополнительного аэродинамического сопротивления движению подвижного состава за счет неких конструкций, например, своеобразных «крыльев», выдвигающихся из пазов в крыше или стенках вагона и ухудшающих обтекаемость кузова вагона воздушным потоком¹ (переход от ламинарного течения воздушного потока к турбулентному). Использование таких тормозов эффективно при скоростях свыше 200—250 км/ч. Аэродинамические тормоза установлены на опытных японских поездах Fastech 360S и Fastech 360Z и представляют собой металлические «крылья» в виде сегментов окружности (по четыре на вагон), которые поворачиваются с помощью привода и в режиме торможения

выдвигаются из пазов в крыше. В убранном положении верхняя грань тормозных крыльев расположена в одном уровне с поверхностью крыши (рис. 15.8).

15.2. Системы управления высокоскоростными поездами

Действия машиниста (локомотивной бригады) по управлению локомотивом (моторвагонным поездом) в нормальной коммерческой эксплуатации направлены на решение нескольких главных задач:

- обеспечение безопасности следования поезда (подвижной единицы);
- соблюдение установленного графика движения;
- ведение поезда с обеспечением установленных величин ускорения при разгоне и торможении и соблюдение предписанного скоростного режима, обеспечивающих максимально возможный комфорт проезда пассажиров (в пассажирском движении) и сохранность грузов;

¹ Отсюда название «спойлерные» тормоза (от англ.: слова *spoil* — портить).

— обеспечение наиболее экономичных режимов ведения поезда (экономия топлива, электроэнергии, наименьший износ устройств и оборудования), оптимальное использование различных тормозных средств (при наличии разных видов тормозных устройств — их выбор, исходя из заданных режимов торможения и возможно меньшего износа элементов тормозной системы).

В начальный период существования железных дорог управление паровозом граничило с искусством, базировалось на индивидуальном опыте, умении, навыках машинистов, их помощников, кочегаров (режим отопления котла, подготовки топлива и т.д.). В условиях использования ручных тормозов (до рубежа XIX—XX столетия в пассажирском движении и до 20—30-х годов XX в. — в грузовом движении) управление поездом основывалось на коллективных действиях всей поездной бригады (включая кондукторов-тормозильщиков) под руководством машиниста.

В конце XIX — начале XX столетия развитие научных представлений о закономерностях движения подвижного состава, исследование вопросов сопротивления движению, прогресс теплотехники, становление научных школ в области создания тормозных устройств и др., сделали возможным разработку научно и инженерно обоснованных рекомендаций по ведению поездов. Успехи в области создания СЦБ привели к внедрению устройств путевой блокировки, в том числе и автоматической, централизации стрелок и сигналов на станции, локомотивной сигнализации и автоматического торможения (автостопов), что способствовало повышению безопасности движения и экономической эффективности перевозок.

Внедрение на железнодорожном транспорте двигателей внутреннего сгорания — создание тепловозов, автомотрис, дизель-поездов, а также электрической тяги — электропоездов и моторвагонного подвижного состава, позволили в середине XX столетия приступить к проектированию устройств авторегулировки скорости движения поездов и систем автоведения (автомашинист). Первые подобные конструкции

пытались создать с применением релейной, релейно-механической, пневматической аппаратуры (в 1950—60-е годы активно развивалась пневмоника¹), а также аналоговых устройств на базе электронных и ионных (ламповых) приборов. Почти все разработки оказались непригодны к практическому коммерческому использованию, однако способствовали развитию теоретических представлений об управлении железнодорожным подвижным составом.

Постепенно накапливался опыт, создавалась все более надежная инженерная приборная база, позволившая автоматизировать, упростить отдельные функции по управлению электрическим, дизельным, газотурбинным подвижным составом, который к середине 1950-х годов вытеснил паровую тягу из сферы высокоскоростного железнодорожного движения.

К концу 50-х годов XX столетия в Японии ученые и инженеры пришли к выводу о перспективности электрической тяги в ее моторвагонном (распределенном) варианте для обеспечения высокоскоростного движения на железных дорогах; во Франции и Германии первые высокоскоростные поезда строились с применением локомотивной (сосредоточенной) тяги. Создание первой ВСМ Токио—Осака в Японии в 1964 г. открыло новую важную страницу не только в истории железнодорожного транспорта в целом, но и в истории развития систем управления движением поездов. Впервые при организации столь больших по объемам пассажирских перевозок с максимальной скоростью движения поездов до 210 км/ч началось использование единой системы управления движением, в которую были интегрированы станционные, перегонные устройства СЦБ (включая напольные), а также устройства, размещенные на

¹ Пневмоника — струйная пневмоавтоматика, отрасль пневмоавтоматики, связанная с изучением, разработкой и применением устройств (элементов), действие которых основано на использовании аэрогидродинамических эффектов (на взаимодействии струй, отрыве потока от стенки, турбулизации течения в ламинарной струе, дросселировании потоков, вихреобразовании). На определенном этапе, до появления надежных и дешевых полупроводниковых элементов, пневмонику рассматривали как альтернативу электронике.

подвижном составе (бортовые). Поездные (локомотивные) бортовые устройства стали неотъемлемой частью всего комплекса управления движением. Процесс управления железнодорожной подвижной единицей — поездом перестал быть изолированным, базирующемся только на поведении локомотивной бригады (машиниста).

В системе управления движением поездов на первой скоростной линии Синкансэн были осуществлены на лучшем доступном в тот период инженерно-техническом уровне сформировавшиеся в мире принципы безопасного управления поездом: постоянный объективный контроль его местоположения; контроль в режиме текущего времени за скоростью движения; соотношение величины этой скорости с разрешенной на настоящий момент, исходя из конкретной поездной ситуации, состояния пути и других стационарных устройств, а также местоположения следующего впереди поезда; автоматическое снижение скорости до установленного предела (авторегулировка); независимая от действий локомотивной бригады автоматическая остановка поезда при возникновении опасности нагона впереди идущего поезда или в ситуации, когда станция закрыта для приема (автостоп).

На подвижном составе были автоматизированы функции управления набором скорости (величина ускорения) и выбора конкретных тормозных средств (включение электродинамических или пневматических фрикционных тормозов) при торможении. Постепенно, на протяжении нескольких десятилетий в системы автоматизированного управления движением поездов стали включаться компоненты, обеспечивающие экономичное движение поездов с энергосбережением, использование рекуперативного торможения.

Исходя из вышесказанного, начиная с первого высокоскоростного японского электропоезда серии 0, его устройства управления уже нельзя рассматривать изолированно от всей системы управления движением поездов на магистрали. Такое же положение затем наблюдается на первых вы-

сокоскоростных поездах, создаваемых в Великобритании и Франции.

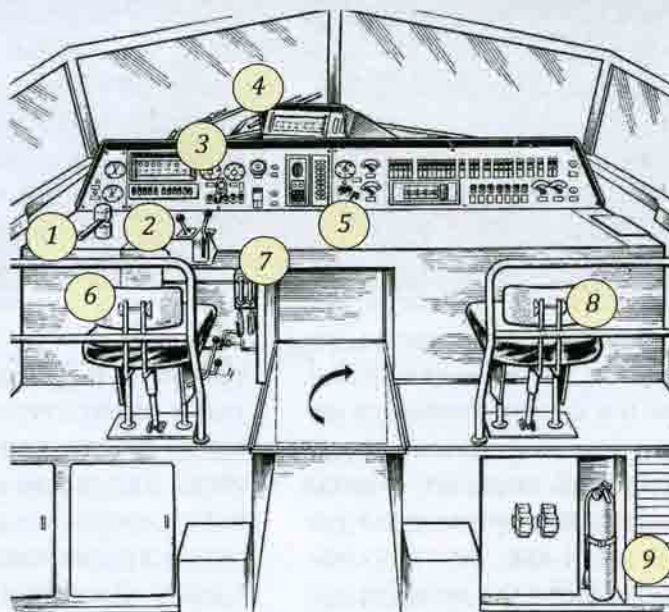
Для высокоскоростных поездов в Японии, как впрочем и для большинства моторвагонных поездов в мире, а также для всех существующих высокоскоростных поездов с локомотивной тягой, принята концепция, при которой обеспечивается возможность движения с конструкционной скоростью в обоих направлениях. В обоих концевых вагонах поезда (или локомотивах) устраиваются кабины машиниста¹ и, таким образом, не требуется разворачивать поезда на конечных станциях. Управление первыми высокоскоростными поездами серии 0 в Японии² осуществлялось локомотивной бригадой в составе двух человек: машинист и его помощник. Впоследствии в Японии перешли на управление высокоскоростными поездами «в одно лицо» — только машинистом. Кабина машиниста в головном вагоне (рис. 15.9) — рабочая, в ней находилась локомотивная бригада. В кабине хвостового вагона находился главный кондуктор, который следил за посадкой пассажиров и давал сигнал отправления поезда. Режим задания скорости движения поезда серии 0 осуществлялся с помощью контроллера машиниста, каждой из 10 позиций которого соответствовала своя комбинация управляющих импульсов постоянного тока напряжением 100 В. По проводам управления, проложенным вдоль состава, эти сигналы передавались на расположенное в вагонах³ коммутационное обо-

¹ В поездах с локомотивной тягой, в которых предусмотрен только один локомотив, например, электровоз, работающий по принципу «тяги-толкай» (поезда типа X2000, ICE2), в концевом вагоне также устроена кабина управления, где и находится локомотивная бригада. В электровозе при следовании в конце состава и работе в режиме «толкания» персонал во время рейса отсутствует.

² Два опытных поезда изготовлены в 1962 г., серийные поезда выпускались с апреля 1964 г.

³ Поезда серии 0 состояли из четного числа вагонов (все моторные), сгруппированные в двухвагонные секции, состоящие из вагонов, обозначенных индексами М и М'. В вагонах типа М' размещалось высоковольтное оборудование, главный трансформатор, кремниевый выпрямитель; в вагоне типа М — коммутационное оборудование управления тяговыми двигателями.

а



б

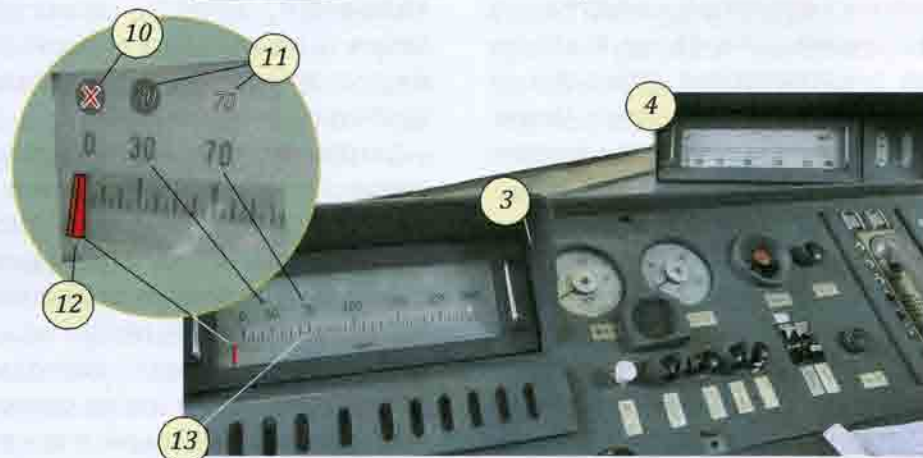


Рис. 15.9. Кабина машиниста японского поезда серии 0 первого выпуска, предназначенная для работы машиниста с помощником: а — фотография и схематическое изображение пульта управления; б — фрагмент спидометра (указателя скорости), совмещенного с локомотивным светофором; 1 — кран машиниста; 2 — рукоятки контроллера и реверса; 3 — указатель скорости и локомотивный светофор в виде индикатора величины разрешенной скорости; 4 — дублер указателя скорости (для работы машиниста в положении стоя); 5 — приборная панель; 6 — кресло машиниста; 7 — аппараты радиотелефона (поездной радиосвязи) и внутренней телефонной связи поезда; 8 — кресло помощника; 9 — огнетушитель; 10 — индикатор сигнала «Остановка»; 11 — индикаторы разрешенной скорости (в данном случае подсвечена цифра 70); 12 — указатель текущей скорости (в данном случае указывает на 0); 13 — шкала значений текущей скорости

рудование: переключатели режима работы тяговых двигателей, которыми и задавали необходимую комбинацию (одну из 25 возможных) соединения выводов секций вторичной обмотки главного трансформатора, питающей через кремневый выпрямитель и фильтр тяговые двигатели. Переход с одной комбинации подключения на другую осуществлялся автоматически, при этом поддерживался требуемый уровень тока тяговых электродвигателей. Машинисту не было необходимости (как это было в тот период в большинстве эксплуатирувавшихся электровазозов и моторвагонных электропоездов) перемещать рукоятку контроллера по результатам наблюдения за показаниями амперметра.

В цепи управления были включены взаимосвязанные устройства, обеспечивавшие сложный алгоритм управления в зависимости от многих факторов. В частности, при поступлении сигнала на торможение немедленно отключались тяговые двигатели, то же происходило и в случае открытия наружных дверей вагона.

Управление тормозной системой поезда обеспечивалось переключением крана машиниста, который имел как пневматическое золотниковое устройство, непосредственно связанное с тормозной магистралью, так и электрический контроллер. С его помощью через электрические провода осуществлялось воздействие на блоки управления тормозами, расположенные в каждом вагоне. При торможении на высокой скорости движения электрическим контроллером вначале включались электродинамические (реостатные) тормоза. Для ускорения стабилизации напряжения электрического тока, вырабатываемого тяговыми двигателями, переключенными в режим генератора, применялось их дополнительное возбуждение. При снижении скорости поезда до значения менее 30 км/ч происходил автоматический переход на пневматические тормоза. При неисправности электродинамического тормоза, а также в случае экстренного торможения, сразу включались пневматические фрикционные тормоза. Все оси поезда были оборудованы устройствами, исключавшими боксование, а также

противоюзными, включавшимися при торможении.

На первых линиях Синкансэн была устроена система автоматического интервального регулирования поездов (автоблокировка) с рельсовыми цепями переменного тока без напольных проходных светофоров с непрерывной многозначной локомотивной сигнализацией и автостопом. На головных вагонах поезда размещался комплект бортовой аппаратуры приема и расшифровки кодовых сигналов автоблокировки, выдававшихся в виде импульсов тока разной частоты, что давало возможность передать на локомотивный светофор команды установки сигнальных показаний. На светофоре в зависимости от передаваемого сигнала высвечивалась величина предельной скорости следования: 30, 70, 110, 160, 210 км/ч или сигнал остановки (см. рис. 15.9).

Скорость движения поезда регулировалась машинистом вручную с помощью контроллера и крана машиниста. Однако бортовая аппаратура автоматического управления движением контролировала соответствие получаемых посредством рельсовых цепей сигналов о предельно допустимой скорости движения, ее реальной величине в данный момент времени и, в случае необходимости, скорость движения автоматически снижалась до установленного уровня или производилась остановка поезда — срабатывал автостоп.

Алгоритм управления первым советским скоростным электропоездом ЭР200 был близок к тому, что использовался на японском поезде серии 0. Как известно, в отличие от Японии и большинства других стран, в СССР (и ныне в России), управление пассажирскими поездами дальнего следования, в том числе скоростными, осуществляется бригадой в составе машиниста и помощника. В концевых прицепных вагонах поезда ЭР200¹ размещались ка-

¹ Поезд ЭР200 формировался из двухвагонных секций в составе двух моторных вагонов типа М и МТ. Минимальное формирование поезда включало помимо одной секции (два моторных вагона), еще два концевых прицепных вагона с кабинами машиниста, на которых размещалась большая часть аппаратуры управления. Число вагонов в поезде четное от 4 до 14, в том числе обязательно два прицепных концевых.



Рис. 15.10. Кабина машиниста поезда ЭР200. СССР. 1976 г.

бины управления (рис. 15.10). Поезд ЭР200 был оснащен системой автоведения (автомашинист). От системы автоведения (или от контроллера при ручном управлении) передачей сформированных помехозащищенных сигналов по проводам, проложенным вдоль состава, осуществлялось управление тягой или торможением. Команды тяги на каждом моторном вагоне поступали в систему управления и обеспечивали переключение силовых контакторов пусковых (тормозных) резисторов и тиристорного регулятора.

В систему автомашиниста были заложены постоянные программы пути, времени, допустимой скорости и в соответствии с ними поддерживалась программная скорость движения. На первой оси концевого вагона (немоторной и нетормозной) находился осевой частотный датчик, формирующий сигнал о величине пройденного пути и текущей фактической скорости. С помощью автоматической локомотивной сигнализации АЛСН 200 от напольных устройств по рельсовым цепям и индуктивной связи на бортовые устройства поступала информация о допустимой скорости и в случае

превышения фактической скорости автоматически включались тормоза, выключающиеся при достижении требуемого значения. В случае бездействия локомотивной бригады устройства АЛСН обеспечивали также автоматическую остановку поезда при поступлении соответствующей команды от напольных устройств. Все моторные оси поезда имели противоюзные и противобоксочные устройства.

На японском высокоскоростном поезде серии 200 (массовое производство началось в 1980 г.) была установлена первая бортовая автоматизированная система управления (БАСУ), действие которой основано на использовании компьютерной техники. БАСУ работала во взаимодействии с напольными устройствами интервального регулирования и автоматической локомотивной сигнализации и осуществляла контроль за действиями машиниста по ведению поезда. В случае необходимости включалась система автоматического торможения, для чего сравнивалась величина скорости поезда в текущий момент времени и передаваемые на поезд сигналы АЛСН о разрешенной скорости движения.

На пульте управления машиниста поезда серии 200 впервые был установлен дисплей на основе монокроматической (черно-белой) электронно-лучевой трубки, заменивший несколько стрелочных приборов и сигнальных ламп. В японском высокоскоростном поезде серии 100 (серийный выпуск с 1984 г.) для дисплея машиниста уже использовалась электронно-лучевая трубка с цветным изображением, на котором отображалась представляемая БАСУ информация о состоянии основных систем, агрегатов и механизмов всех вагонов поезда.

Для передачи информации между вагонами поезда серии 100 была впервые устроена волоконно-оптическая линия связи с пропускной способностью до 19,2 кбит/с. Информационные терминалы БАСУ были установлены также в помещениях проводников, информационные экраны типа «бегущая строка» впервые разместили в пассажирских салонах.

Автоматизированная система управления, основанная на компьютерной технике, была использована во французском поезде серии TGV A (рис. 15.11). В кабине машиниста поезда появились многофункциональные указатели-дисплеи. Эта система полу-

чила развитие в поездах TGV R и TGV TM, в японских поездах (рис. 15.12), в поездах, выпущенных в других странах.

При всем многообразии алгоритмов, технических решений и приборно-аппаратного обеспечения систем управления высокоскоростными поездами (к настоящему времени в мире выпускается серийно более 20 моделей высокоскоростных поездов, испытывается более десяти опытных поездов), сложились некие общие принципы формирования бортовых систем управления высокоскоростным подвижным составом. Исходят из следующих основных функций, которые эти системы должны обеспечить.

1. Управление движением поезда в режимах, выбираемых машинистом:

ручное управление — осуществляется машинистом путем манипуляций на пульте;

автоматическое управление — по команде бортовой системы управления (БАСУ);

аварийное ручное управление — от рукоятки «резервное торможение» на пульте управления.

2. Координированное совместное управление тяговыми и тормозными системами; автоматическое и ручное дистанционное управления токоприемниками и высоко-



Рис. 15.11. Кабина машиниста поезда TGV A. Франция. 1990 г.



Рис. 15.12. Кабина машиниста и пульт управления высокоскоростным поездом серии 400. Япония. 1990 г.

вольтной аппаратурой из кабины машиниста;

прием управляющих и информационных сигналов из БАСУ и передача через нее информации в диспетчерский центр.

3. Определение скорости по датчикам, установленным в поезде, с корректировкой этих значений с помощью информации, получаемой от напольных устройств.

Поддержание заданной скорости движения поезда в установившемся режиме с погрешностью, определенной нормативными документами, как правило, в пределах не более ± 2 км/ч.

4. Представление информации на панелях пульта машиниста и в блоках управления вагонным оборудованием, а также трансляцию ее в виде обобщенных сигналов на пульт проводника вагона (начальника поезда), входящий в состав комплекса внутripоездной связи;

работу информационных табло в пассажирских салонах;

контроль исправности приборов, устройств, оборудования поезда, включая систему управления, идентификацию неисправности.

5. Измерение, контроль и диагностику электрических и теплотехнических параметров;

сбор, преобразование, хранение в электронных модулях информации о состоянии

систем, устройств и оборудования, их отказах, отклонениях параметров, о командах управления за время рейса для последующей передачи в депо;

формирование массивов необходимой информации и передачу их на хранение в защищенный модуль памяти (так называемый «черный ящик»).

6. Совместимость бортовых микропроцессорных средств с напольными и депо-скими устройствами системы диагностики;

режим «отстоя» электропоезда в депо и ряд других функций.

Управление техническими средствами и получение известительной и диагностической информации во время рейса осуществляется с пультов машиниста, расположенных в кабинах головных вагонов.

Для реализации перечисленных функций БАСУ большей частью организуется трехуровневая иерархическая структура.

Верхний уровень включает аппаратуру пультов машиниста и приборы поездного компьютера, размещенные в концевых вагонах электропоезда. Аппаратура осуществляет выработку сигналов автоматического управления движением поезда, информационное обеспечение рабочих мест машиниста и его помощника, а также связи со смежными системами электропоезда.

Средний уровень иерархической структуры представлен приборами, размещенными в каждом вагоне и предназначен для контроля и управления техническими средствами, расположенными в данном вагоне (в подвагонном пространстве, в шкафах, в потолочных конструкциях и на крыше). Для автономного контроля исправности и наладки систем вагонного оборудования на большей части приборов и устройств управления размещены клавиатура и индикаторы (рис. 15.13).

Нижний уровень структуры составляют контроллеры локальных устройств управления техническими средствами: вагонными тележками, тяговыми электроприводами, электропневматическими тормозами, электроприводами дверей и т.д.

Связь между аппаратурой и приборами верхнего и среднего уровней осуществляется с помощью резервированной поездной магистральной сети связи. Средствами вагонной магистрали управления решается задача интеграции в единый комплекс бортовых систем управления всех локаль-

ных систем поезда. Особо ответственные задачи управления (движение поезда, работа высоковольтного оборудования и т.п.) дублируются.

В головном вагоне на пульте машиниста размещаются дублированный поездной компьютер, блоки ввода-вывода информации, панели для предоставления машинисту информации в форме видеокадров.

Кроме микропроцессорных устройств в состав БАСУ входят приборы распределения электропитания, блоки выходных реле и другое оборудование. При создании БАСУ особое внимание уделяется обеспечению надежности и безопасности, что достигается как резервированием электронного оборудования, так и аналоговой магистралью управления, которая в случае отказа микропроцессорной части системы обеспечивает выполнение минимально необходимых операций и соединяет органы управления с соответствующей аппаратурой исполнительных механизмов.

В 90-е годы XX столетия — первое десятилетие XXI в. при создании пультов управ-

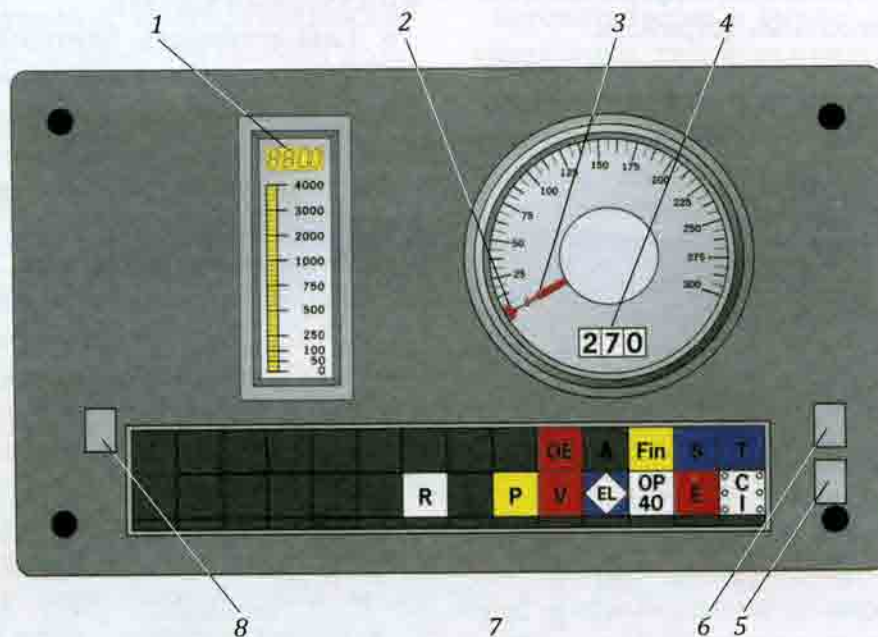


Рис. 15.13. Индикаторная панель пульта управления высокоскоростным поездом AVE (серия 100). Компания Alstom для Испании. 1991 г.: 1 — указатель протяженности участка ограничения скорости; 2 — задаваемая скорость; 3 — реальная скорость; 4 — ограничение скорости на участке; 5 — выключатель подсветки пульта; 6 — выключатель подсветки спидометра; 7 — световые индикаторы работы различных устройств и систем; 8 — выключатель подсветки указателя протяженности участка ограничения скорости



Рис. 15.14. Пульт управления поездом AGV. Франция. 2008 г.



Рис. 15.15. Кабина машиниста и пульт управления поездом «Гармония» CRH380A. КНР. 2010

ления высокоскоростными поездами наблюдались те же явления, что и при проектировании пультов управления самолетами и вертолетами: стрелочные приборы и индикаторы, дискретные световые указатели в виде лампочек накаливания, а позже — светодиодов, заменялись интегрированными табло на основе электронно-лучевых трубок, а затем и жидкокристаллических дисплеев (рис. 15.14, 15.15).

При безусловном главенстве научных принципов подхода к формированию пультов управления, информационных табло высокоскоростного подвижного состава, исходя из требований эргономики, психологии восприятия информации, технической эстетики, проявляются и индивидуальные черты дизайнеров тех или иных компаний, стран и даже национальные черты и традиции.

Глава 16

Особенности конструкции высокоскоростных поездов «Сапсан» и «Аллегро»

16.1. Электропоезд «Сапсан»

16.1.1. Разработка технологической платформы поезда

Высокоскоростной электропоезд проекта Velaro RUS спроектирован совместно с российскими специалистами и изготовлен немецким концерном Siemens AG на платформе проекта Velaro, за основу которой была взята конструкция высокоскоростного электропоезда ICE3, введенного в эксплуа-

тацию в 1994 г. Конструкционная платформа Velaro использовалась также при создании высокоскоростных поездов для железных дорог Испании и КНР.

Электропоезд постоянного тока ЭВС1, и двухсистемный электропоезд постоянного и переменного тока — ЭВС2, известные под торговой маркой «Сапсан», предназначены для эксплуатации на линиях Санкт-Петербург — Москва и Москва — Нижний Новгород (рис. 16.1).



Рис. 16.1. Поезд «Сапсан». 2009 г.

Для условий России платформа Velaro была существенно доработана, при этом учтены рекомендации российских специалистов, основанные на 20-летнем опыте эксплуатации электропоездов ЭР200 и поездов «Невский экспресс» с электровозами ЧС200, а также опыт испытания поезда «Сокол». Были, в частности:

- проведены конструкционные изменения тележек для ширины колеи 1520 мм и их адаптация к конструктивным особенностям верхнего строения пути российских железных дорог;

- изменена общая конфигурация и др.

Установленный диапазон рабочих температур электропоезда: от -40 до $+40$ °С — существенно отличается от испанского и китайского вариантов. Он стал значимым фактором, который повлиял на общую конфигурацию и компоновку оборудования и систем, а также выбор комплектующих изделий и некоторых конструкционных материалов. В частности, предусмотрено применение специальных марок стали и материалов, отвечающих требованиям прочности для температурных диапазонов до -40 °С. Это касается и всех конструктивных элементов, установленных снаружи кузова: крепежных деталей, резиновых и пластмассовых прокладок и т.п.

Кроме того, продолжительный период низкой температуры наружного воздуха, обилие снега в условиях российской зимы потребовали более высокого уровня герметизации подвагонного пространства для предотвращения попадания в него снега. Возникла необходимость установки дополнительных кожухов, защитных щитков, дефлекторов-отражателей. С целью уменьшения попадания снега в подвагонное пространство через воздушную систему охлаждения отверстия воздухопроводов для забора наружного воздуха выведены на крышу вагонов. При этом сами воздухопроводы, проходящие через пассажирские салоны вагонов, выполнены в виде элементов конструкции гардероба для одежды пассажиров. На токоприемниках предусмотрены дополнитель-

ные пневматические цилиндры (так называемые «цилиндры короткого хода»), которые обеспечивают повышенное начальное усилие, необходимое для отрыва от рамы токоприемника полоза, находящегося в опущенном состоянии в условиях обледенения.

Внешние очертания головных вагонов электропоезда «Сапсан» отличаются от головных вагонов его прототипа — семейства ICE3, эксплуатируемых на немецких и испанских железных дорогах. Это вызвано несколькими причинами. Так, по действующим в России нормам в кабине машиниста поезда «Сапсан» необходимо было предусмотреть место для машиниста и его помощника, а также возможность управления электропоездом в положении машиниста стоя. В то время как в Германии и Испании в кабине управления оборудовано только одно рабочее место для машиниста, который ведет поезд без помощника (так называемое «управление в одно лицо»). Кроме того, в поездах ICE3 в Германии и Испании пассажиры, находящиеся в первом салоне головного вагона, могут через прозрачную стенку кабины управления наблюдать за дорогой впереди поезда. Исходя из этого, для машиниста не предусмотрена возможность управлять поездом стоя, поскольку в этом положении он будет ухудшать обзор пассажирам. Компромисс между комфортом пассажиров и условиями работы машиниста был решен в пользу пассажиров. Таким образом, верхний уровень лобового окна кабины расположен так, что должный обзор машинистом пути обеспечивается только в положении сидя. Учитывая российские нормативы, была изменена форма носовой части головного вагона и очертания лобового стекла, увеличенно-го в высоту (рис. 16.2).

При согласовании динамических параметров и прочности экипажной части российского варианта поезда возникли проблемы оценки сопротивления рамы тележки, усталости и несущей способности кузова при действии продольных сил. Это было вызва-

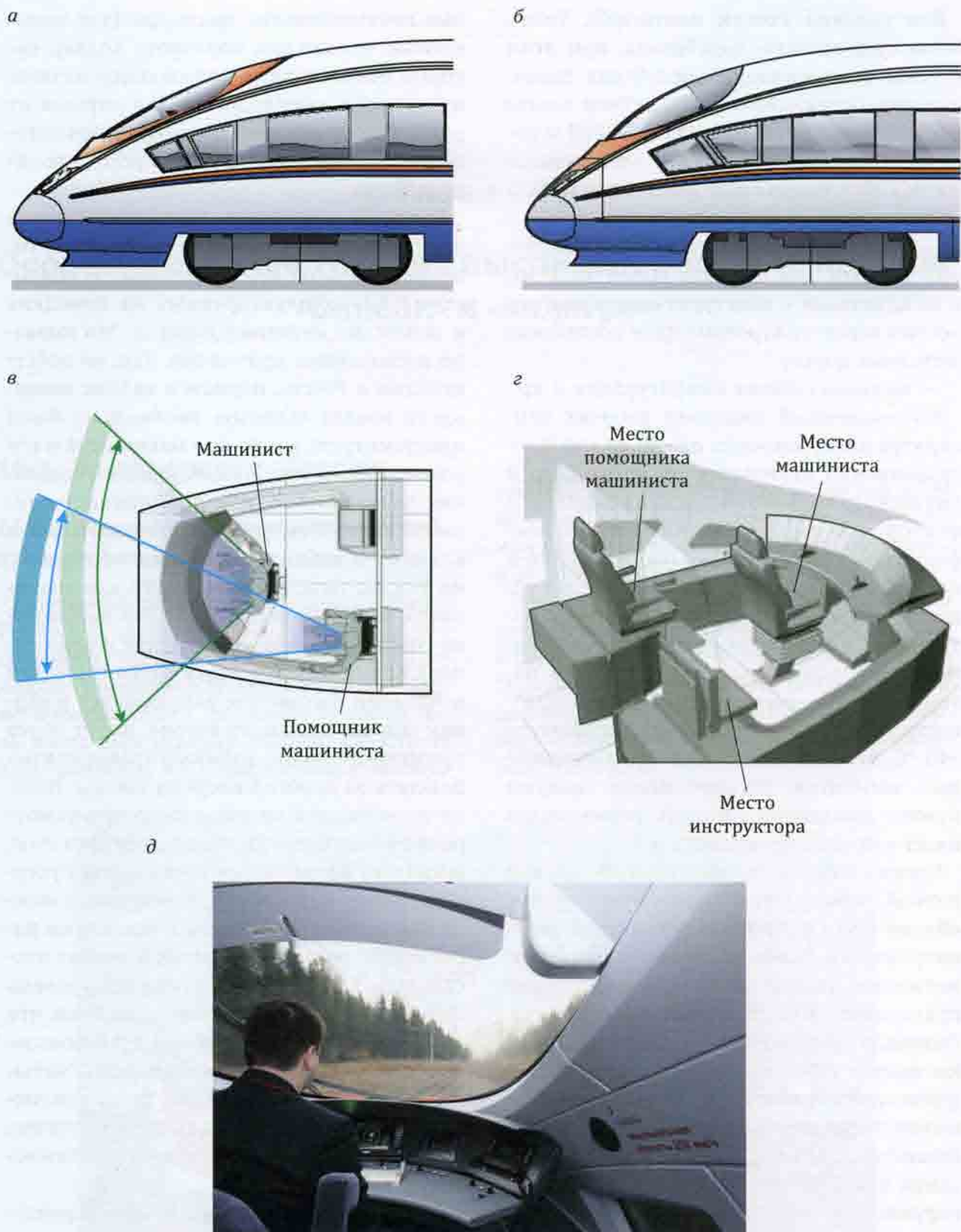


Рис. 16.2. Носовая часть головных вагонов: а — поезд ICE3; б — «Сапсан»; в — план кабины машиниста поезда «Сапсан» с обозначением горизонтальных углов обзора с рабочего места машиниста и помощника; г — расположение рабочих мест в кабине управления; д — пульт управления поездом

но существенными различиями в нормативных требованиях к показателям оценки прочности в нашей стране и в Германии. В европейских странах показатель оценки прочности определяется расчетным путем, а в России окончательное заключение о соответствии подвижного состава нормативным требованиям дается по результатам комплекса натурных испытаний.

Важной задачей стала разработка профиля поверхности катания колес поезда Velaro Rus, поскольку принятый на российских железных дорогах профиль головки рельсов существенно отличается от европейского. В процессе эксплуатации профиль поверхности катания колес был доработан российскими специалистами. Для определения реально возможных изменений величины так называемой «подуклонки» рельса (наклон рельса внутрь колеи) на линии Санкт-Петербург—Москва проведены соответствующие измерения и оценка вибронагруженности элементов пути; выполнены стендовые испытания для определения параметров подуклонки при использовании рельсовых скреплений различных типов.

На железных дорогах России и стран бывшего СССР применяется больший, чем в странах с колеей 1435 мм, габарит подвижного состава, различаются даже методики его расчета. Очевидно, что российский подвижной состав с более широким кузовом предоставляет лучшую возможность для организации внутреннего пространства пассажирских салонов, позволяет создать более комфортные условия для проезда пассажиров.

Сложными задачами при разработке поезда для России явились: обеспечение российских требований к электромагнитной совместимости с устройствами связи и СЦБ, санитарно-гигиенических и противопожарных требований. Таким образом, электропоезда «Сапсан» с технической точки зрения имеют существенные отличия от широко распространенных в Германии электропоездов ICE3 и отличаются от испанского и китайского варианта поездов Velaro.

В рамках работы над проектом было получено 20 патентов, зарегистрировано 4

изобретения, успешно проведена интеграция российских систем обеспечения безопасности (например, КЛУБ-У)¹ в технические решения зарубежного производителя. Основные технические характеристики высокоскоростных электропоездов производства Siemens AG отображены в табл. 16.1.

16.1.2. Композиция состава и внутреннее оснащение вагонов

Конструктивно поезд состоит из 2 тяговых секций, каждая из которых включает 5 вагонов. Состав тягового оборудования каждой секции одинаков. Перестановка вагонов в тяговой секции не допускается. Поезда эксплуатируются в составе из 10 вагонов.

Как уже отмечалось, поезда выпущены в двух вариантах:

В1 — односистемный поезд, предназначен только для линий, электрифицированных на постоянном токе напряжением 3 кВ;

Поезд В2 — двухсистемный, предназначен для линий, электрифицированных как на постоянном токе напряжением 3 кВ, так и на переменном напряжении 25 кВ. Поезда В2 отличаются наличием дополнительного тягового оборудования для эксплуатации на линиях, электрифицированных на переменном токе. Пассажирские салоны вагонов обоих вариантов имеют одинаковое исполнение (вместимость поездов — по 509 человек). На рис. 16.3 и 16.4 показаны схемы формирования односистемного (В1) и двухсистемного (В2) поездов.

Вагоны обозначаются следующим образом.

Первые два или три символа указывают на функциональное назначение вагона:

SR — вагоны с тяговыми преобразователями (моторные);

DR — дроссельные вагоны;

MW — средние вагоны;

TR — вагоны с тяговым трансформатором;

BAT — вагоны с аккумуляторной батареей.

¹ Комплексное локомотивное устройство безопасности, унифицированное.

Основные технические характеристики высокоскоростных электропоездов семейства ICE — Velaro

Параметры	Наименование поезда, страна эксплуатации			
	ICE3	Velaro E (AVE Class 103, Испания)	Velaro C (CRH3, КНР)	Velaro Rus («Сапсан», Россия)
Начало эксплуатации, год	2000	2007	2008	2009
Конструкционная скорость, км/ч	330	350	350	250 ¹
Ширина колеи, мм	1435			1520
Род тягового тока	15 кВ 16 ² / ₃ Гц	25 кВ 50 Гц		3 кВ, 3 кВ / 25 кВ 50 Гц
Число вагонов в поезде	8	8	8	10
Длина поезда, м	200	200	200	250,3
Ширина кузова, мм	2950	2950	3265	3257
Стандартная высота пассажирской платформы, мм	550	550	600	1300
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+50	-20...+50	-20...+50	-40...+40
Тяговая мощность на обод колеса, кВт	8000	8800	8800	8000
Управление соединенными поездами, число единиц	2	2	2	Поезда первого выпуска (№№ 1—8) — не предусмотрено; второго выпуска (№№ 9—16) — предусмотрено (2 ед.)
Число мест	415	404	601	604 — при выпуске с завода, 509 — в эксплуатации после коррекции планировки салонов
Число поездов (начало 2010 г.)	63	16+10 ²	60+100 ²	4+4 ³

Примечания: 1 — с возможностью модернизации до 330 км/ч; 2 — поезда разной конфигурации по классности вагонов; 3 — поезда, рассчитанные на одну и две системы питания.

Отдельная буква посередине обозначения характеризует пассажирский салон:

В — бизнес-класс (1-й класс);

Т — туристический класс (2-й класс);

Р — ресторан.

После символов цифрами обозначен номер вагона.

Как видно на рис. 16.3 и 16.4 в поездах В2 средние вагоны № 3 и № 8, заменены на трансформаторные. Трансформаторные вагоны оборудованы токоприемниками переменного тока. Каждый поезд состоит из 4 моторных и 6-ти прицепных вагонов.

а



б



Рис. 16.3. Схема формирования односистемного поезда В1 (а, б)

а



б



Рис. 16.4. Схема формирования двухсистемного поезда В2 (а, б)

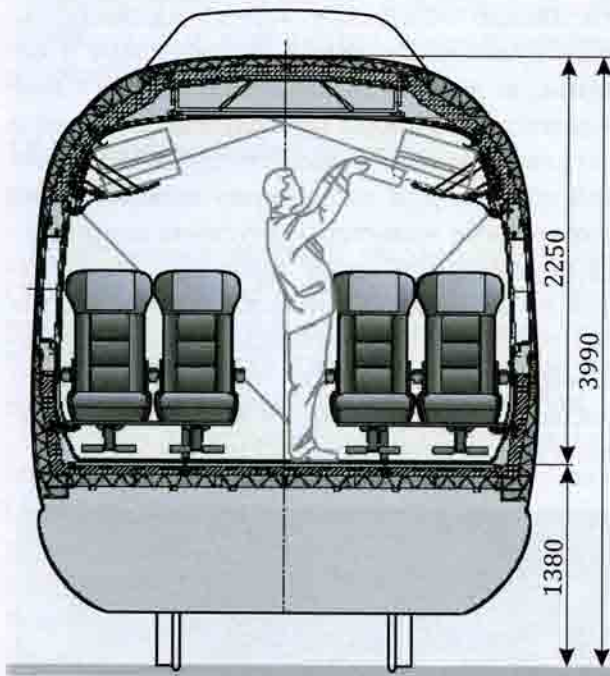


Рис. 16.5. Поперечное сечение пассажирского салона вагона поезда «Сапсан»

16.1.3. Внутреннее оснащение вагонов

Поезд «Сапсан» предназначен для перевозки пассажиров на местах для сидения в вагонах с салонами первого, бизнес и эконом-класса (рис. 16.5, 16.6). В салонах первого класса кресла размещены по схеме 1 + 2 (кресло — проход — 2 кресла), в бизнес и эконом-классе — по схеме 2 + 2. В вагоне № 6 места 61 и 62 предназначены для инвалидов-колясочников: здесь имеются специальные напольные приспособления для быстрого и надежного крепления инвалидной коляски, место № 62 может использовать инвалид по зрению в сопровождении собаки-поводыря. В проеме входных дверей вагона № 6 для въезда коляски может устанавливаться переносная складная рампа, которая постоянно находится в шкафу у входа в вагон № 5.

а



б



Рис. 16.6. Интерьер пассажирского салона вагона поезда «Сапсан»: а — бизнес-класс; б — эконом-класс

Окна вагонов изготовлены из изолирующего многослойного стекла и оснащены солнцезащитными шторами. В середине салонов всех вагонов устроены вешалки для одежды и места для размещения крупного багажа. Для ручной клади над сиденьями имеются полки, уклон которых в сторону стен обеспечивает надежное удержание багажа при движении поезда.

В пассажирском салоне каждого вагона имеются климатические установки, позволяющие поддерживать нужную температуру, влажность, приток наружного и удаление вытяжного воздуха, ультрафиолетовую стерилизацию. Управление установками производится с пульта, находящегося в служебном купе вагона № 5 или из кабины машиниста.

В систему внутреннего освещения входит основное для вагона, местное — лампы для чтения и аварийное. Управление освещением осуществляется с пульта, находящегося в служебном купе вагона № 5 или из кабины машиниста.

тительным оборудованием осуществляется начальником поезда из служебного купе или кабины машиниста.

В каждом вагоне потолочное табло в ходе всей поездки информирует о маршруте следования, номере вагона, температуре наружного воздуха, текущей скорости движения (рис. 16.7).

В поезде имеется аудиовидеосистема, позволяющая пассажиру через индивидуальный пульт управления, встроенный в сиденье, подключить стереонаушники с возможностью выбора программы вещания и регулирования громкости звука. Видеоизображение для пассажиров выводится на потолочные мониторы, звуковое сопровождение подается через один из аудиоканалов на индивидуальные наушники каждого пассажира, таким образом, просмотр видеопрограмм не создает неудобств другим пассажирам. Над каждым креслом установлена кнопка вызова персонала поезда.

Рис. 16.7. Информационное табло в пассажирском салоне (показывает номер поезда — 153, температуру наружного воздуха на трассе Санкт-Петербург—Москва (утро одного из дней зимы 2010/2011 г.)



Имеющаяся система видеонаблюдения позволяет начальнику поезда наблюдать за ситуацией в вагонах и оперативно реагировать на случаи возгорания, вандализма, хулиганства и т.п.

Внутри головных вагонов № 1 и № 10 в шкафах расположены поездные радиостанции, для которых на крышах этих вагонов установлено по три радиоантенны с разными характеристиками. Устройства радиосвязи на поезде «Сапсан» позволяют передавать диагностическую информацию в центр ремонта.

На пульте управления (см. рис. 16.2, д) машинист по манометру следит за давлением в тормозной системе, блок индикации КЛУБ-У показывает допускаемую и фактическую скорости движения, локомотивная сигнализация информирует о количестве впереди лежащих свободных блокучастков, показаниях напольных светофоров, расстоянии до мест ограничения скорости движения. С помощью наружных видеокамер машинист на экране, расположенном на пульте в кабине управления, может наблюдать за обстановкой на перроне.

Электропоезда «Сапсан» оснащены также необходимым аварийным оборудованием и устройствами.

16.1.4. Экипажная часть, тележки

Конструкция тележек высокоскоростного поезда «Сапсан» (международное обозначение SF-520) выполнена исходя из требований стандарта плавности хода поезда и обеспечения комфорта для пассажиров.

Тележки электропоезда «Сапсан» разработаны и изготовлены на заводе в г. Грац (Австрия), являющимся крупнейшим в Европе производителем многих видов тележек для подвижного состава различных типов. На рис. 16.8 изображены (моторная и немоторная) тележки электропоезда ICE3, на базе которого был разработан элек-

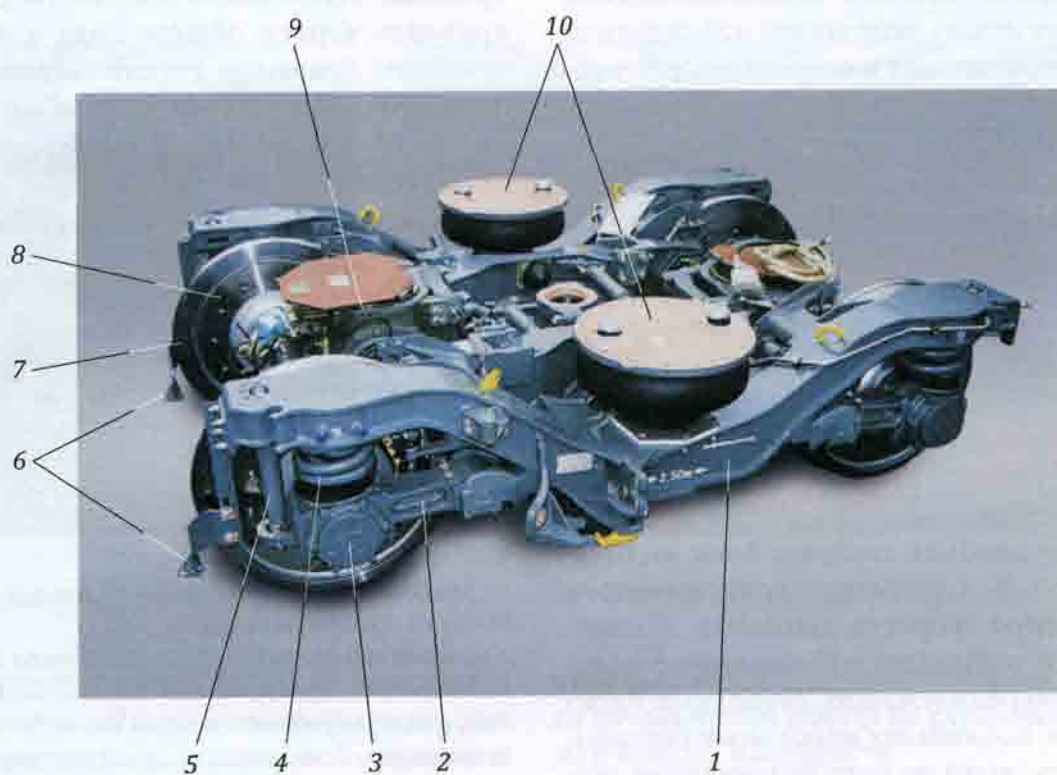
тропоезд Velaro RUS «Сапсан». На рис. 16.9 приведен чертеж общего вида в плане и показаны основные детали моторной тележки SF-520 электропоезда «Сапсан», на рис. 16.10 — немоторной тележки прицепного вагона.

Основные технические характеристики тележки SF-520

Максимальная эксплуатационная скорость.....	300 км/ч
База.....	2600 мм
Ширина колеи (российская колея).....	1520 мм
Диаметр колеса нового/с износом	920/840 мм
Минимальный радиус кривой в составе / отдельном вагоне.....	250/150 м
Максимальная нагрузка от колесной пары на рельсы	19 тс
Масса со шкворнем тележки и поперечной балкой.....	около 11,193 т
Высота опоры кузова вагона.....	1109 мм
Вторичное устройство передачи продольного усилия	шкворень
Подвешивание тягового двигателя.....	опорно-рамное с поперечным подрессориванием
Привод (расположение).....	на оси
Тормоз	механический (пневматический) и электродинамический (генераторный)
Дисковый тормоз	на колесном центре (моторная тележка) на оси (поддерживающая тележка)
Суппорт тормозного механизма.....	на тележке с одним пружинным аккумулятором
Генераторный режим.....	тяговый двигатель

Конструктивно моторные и немоторные тележки вагонов поезда «Сапсан» (SF-520) максимально унифицированы. Различие между тележками состоит только в наличии компонентов тягового привода. Тяговые характеристики поезда приведены в табл. 16.2.

а



б

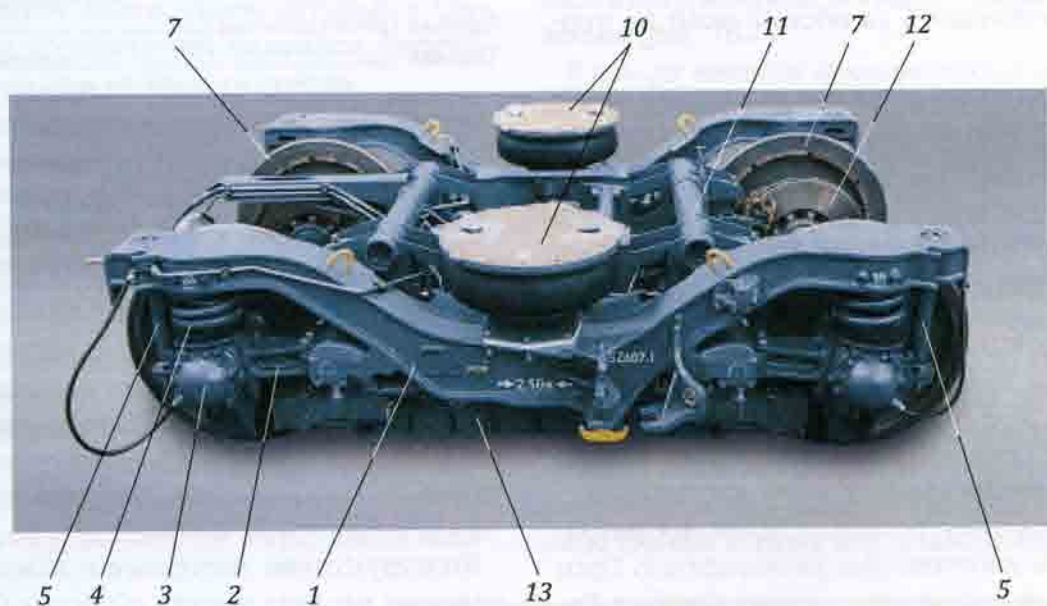


Рис. 16.8. Тележки вагонов электропоезда ICE: а — моторная; б — немоторная (поддерживающая): 1 — рама тележки; 2 — буксовый баланси́р (рычаг); 3 — букса; 4 — цилиндрическая пружина первичной ступени подвешивания; 5 — гидравлический гаситель колебаний первичной ступени подвешивания; 6 — путеочиститель первой оси первой тележки; 7 — колесная пара; 8 — тормозной диск на колесе моторной тележки; 9 — тяговый электродвигатель; 10 — пневматическая рессора; 11 — тормозная балка поддерживающей тележки; 12 — тормозной диск на оси поддерживающей тележки; 13 — башмак магниторельсового тормоза поддерживающей тележки

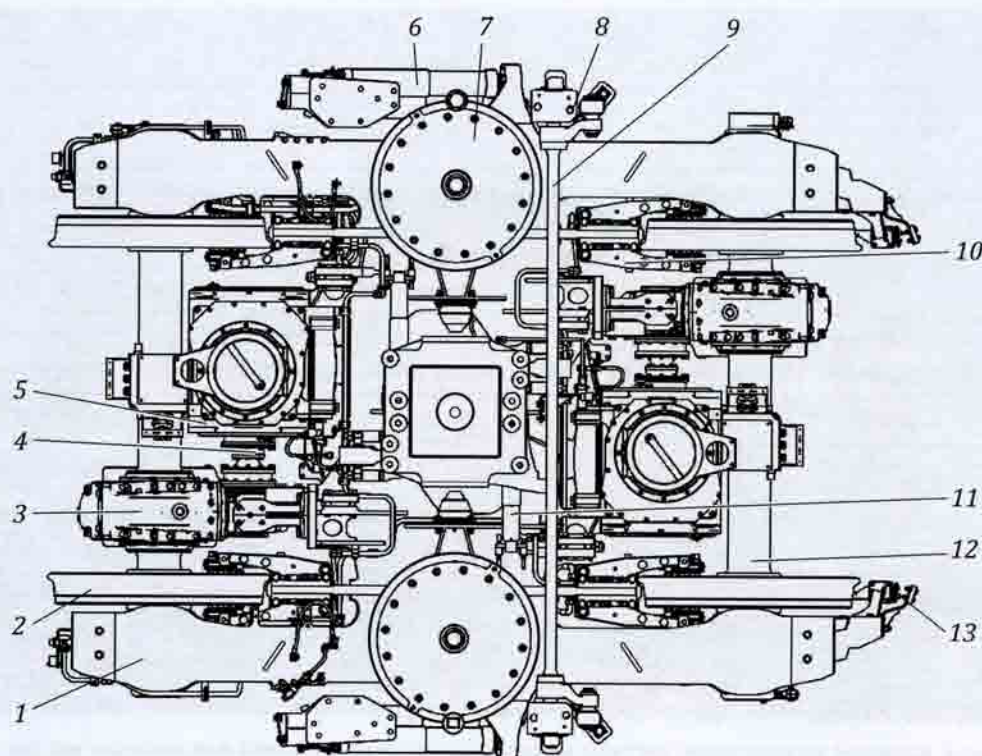


Рис. 16.9. Моторная тележка SF-520 ЭВС «Сапсан» (показана без траверсы): 1 — рама тележки; 2 — колесная пара; 3 — корпус тягового редуктора; 4 — зубчатая муфта; 5 — тяговый электродвигатель; 6 — гидравлический гаситель колебаний виляния тележки; 7 — пневматическая рессора; 8 — кулак торсиона поперечной устойчивости кузова; 9 — торсион поперечной устойчивости кузова; 10 — клещевой механизм фрикционного тормоза; 11 — гидравлический гаситель поперечных колебаний; 12 — ось колесной пары; 13 — путеочиститель первой оси первой тележки

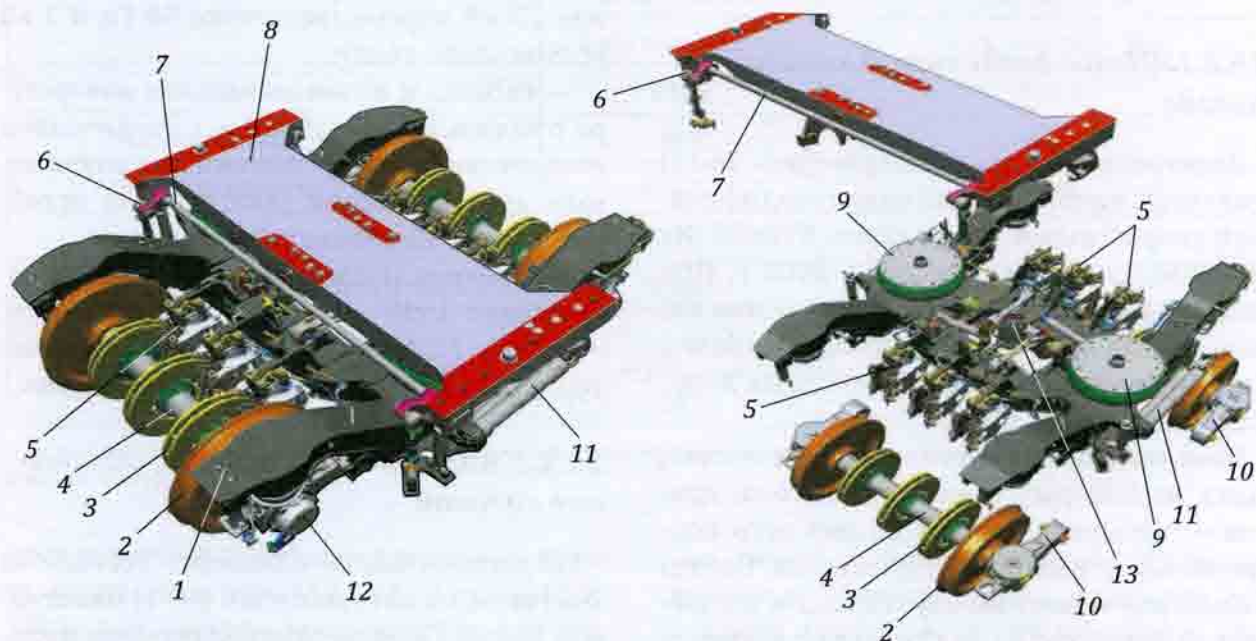


Рис. 16.10. Немоторная тележка прицепного вагона поезда «Сапсан»: 1 — рама тележки; 2 — колесная пара; 3 — тормозной диск на оси колесной пары; 4 — ось колесной пары; 5 — клещевой механизм тормоза; 6 — кулак торсиона; 7 — торсион поперечной устойчивости кузова; 8 — траверсы; 9 — пневматическая рессора; 10 — буксовый балансир (рычаг); 11 — гидравлический гаситель колебаний виляния; 12 — датчик вращения колесной пары; 13 — седло шкворня (лемнискатного механизма)

Компоновка вагонов поезда «Сапсан»*

№ Вагона	Класс	Описание
1 и 10	1 — первый 10 — эконом	В головной части вагона расположено пассажирское отделение с 4 местами первого класса; в общем салоне — 19 мест первого класса; 10-й вагон — 52 места эконом-класса
2 и 9	2 — бизнес 9 — эконом	2-й вагон — 52 места бизнес-класса, два стандартных санузла; 9-й вагон — 64 места эконом-класса, два стандартных санузла
3 и 8	Эконом	В обоих вагонах по 66 мест эконом-класса, по два стандартных санузла
4 и 7	Эконом	В обоих вагонах по 64 места эконом-класса, по два стандартных санузла
5	Бистро	40 мест в обеденном зале, кухня, бар, служебное купе для начальника поезда и персонала, обеспечивающего безопасность
6	Эконом	58 мест эконом-класса, 2 места для инвалидов-колясочников, два санузла: один — универсальный стандартный санузел, второй для инвалидов (в нем установлен специальный стол для пеленания детей)

Общее число мест в поезде — 509 (плюс 40 мест в вагоне-бистро).

Примечания. В процессе эксплуатации составы не разворачиваются, сохраняя направление вагона № 1 на Санкт-Петербург, а вагона № 10 — на Москву.

В вагоне № 6 расположено место кассира, продающего железнодорожные билеты.

* После модернизации в 2013 г.

16.2. Электропоезд «Аллегро»

16.2.1. Общие сведения об электропоезде

Электропоезд Sm6 «Аллегро» (рис. 16.11) является одной из последних модификаций скоростных поездов серии ETR600. Их производство было начато в 2008 г. При создании поезда «Аллегро» в качестве базовой была взята модель поезда Pendolino Sm3, эксплуатируемая на железных дорогах Финляндии.

Поезд «Аллегро» состоит из двух секций, одна из которых имеет три вагона, другая — четыре, в каждой из них есть концевой вагон с кабиной управления. Поезда «Аллегро» можно эксплуатировать в сдвоенном варианте — два состава с управлением по системе многих единиц.

Основные отличия от поездов Sm3, эксплуатируемых на железных дорогах Финляндии:

— система двойного питания (напряжение 25 кВ переменного тока 50 Гц и 3 кВ постоянного тока);

— тяговая и вспомогательная аппаратура с водяным охлаждением, с увеличенной мощностью тяговой единицы и улучшенным дублированием (два тяговых преобразователя на тяговую единицу);

— внешнее аварийное соединение на напряжение 3 кВ.

В табл. 16.3 приведены основные характеристики поездов «Аллегро» и «Сапсан».

16.2.2. Композиция состава, оснащение вагонов

Скоростной поезд «Аллегро» состоит из 7 вагонов, из которых один (№ 1) имеет салон первого класса, с расположением пассажирских кресел по схеме 2 + 1, пять вагонов с салонами экономического класса (расположение сидений по схеме 2 + 2), в вагоне № 3 находится бистро с обеденным залом на 39



Рис. 16.11. Поезд Stb «Аллегро»

Таблица 16.3

Основные характеристики поездов «Аллегро» и «Сапсан»

Вид поезда	Параметр	«Аллегро»	«Сапсан» (двухсистемный)
Питание		3 кВ, пост. ток	3 кВ, пост. ток
		25 кВ, перемен. ток	25 кВ, перемен. ток
Длина, м		184,8	250,3
Масса (без пассажиров), т		409	651
Общая мощность ТЭД, кВт		4547,2	8208
Максимальная скорость, км/ч		220	250
Максимальное значение силы тяги, кН		225,8	328
Число мест: 1 класс/бизнес/экономический Всего		—/48/294 342	23/52/434 509

* Сюда же включены два места для пассажиров на инвалидных колясках. Подъемники для колясок располагаются в вагоне-бистро.

мест, в концевых вагонах размещены кабины управления (рис. 16.12, 16.13, табл. 16.4).

Поезд «Аллегро» предназначен для эксплуатации на линиях с высокими платформами (на территории России) и низкими платформами (станции финских железных дорог). В силу этого наружные двери ваго-

нов имеют двойное оснащение: механизированные выдвигающиеся площадки для высоких платформ и опускающиеся подножки для низких платформ (см. п. 12.3), функционирующие синхронно с открыванием автоматических дверей на соответствующих станциях.



Рис. 16.12. Пульт управления поездом «Аллегро»



Рис. 16.13. Пассажирский салон вагона экономического класса

Вагоны оснащены необходимым санитарно-гигиеническим оборудованием, в пассажирских салонах установлены бачки с

питьевой водой с устройствами для ее охлаждения и раздачи, в вагоне № 7 устроен детский игровой уголок (рис. 16.14).

Компоновка вагонов поезда «Аллегро»

№ Вагона	Класс	Описание, вместимость
1	Бизнес	48 мест; санузел, багажная секция, гардероб
2	Эконом	54 места, плюс два места инвалидов и для крепления инвалидных колясок, багажная секция, гардероб, санузел для людей с ограниченной подвижностью, питьевая вода — устройство для хранения, охлаждения и раздачи питьевой воды (так называемый кулер — от англ. cooler — устройство для охлаждения)
3	Бистро	Кухня, бар, обеденный зал на 38 посадочных мест Подъемник для инвалидной коляски в наружной двери
4	Эконом	47 мест, санузел, багажная секция, гардероб, питьевая вода — кулер
5		71 место, санузел, багажная секция, гардероб, питьевая вода — кулер
6		68 мест, включая четыре места для проезда пассажиров с животными, санузел, багажная секция, гардероб, питьевая вода — кулер
7		52 места, санузел, багажная секция, гардероб, питьевая вода — кулер, детский игровой уголок

Общее число мест в поезде — 342 (плюс 38 мест в вагоне-бистро).



Рис. 16.14. Детский игровой уголок в вагоне поезда «Аллегро»

16.2.3. Связь кузова вагона с тележкой и система наклона

Конструктивной особенностью поезда является наличие гидравлических систем наклона кузовов вагонов, что дает возможность увеличить скорость движения в кривых примерно на 20 км/ч (в зависимости от радиуса кривой) без существенного ухудшения комфорта проезда пассажиров. Система наклона интегрирована в конструкцию каждой тележки и обеспечивает возможность наклона кузова вагона до 8° (см. п. 13.6, рис. 13.77).

Наклон кузова происходит за счет повышения давления масла в цилиндрах с одной стороны тележки (активные цилиндры), при этом в цилиндрах с противоположной стороны давление остается неизменным. При достижении необходимого угла наклона, давление в цилиндрах уравнивается и система приходит в установившееся состояние. При снижении давления в активных цилиндрах система возвращается в исходное положение.

Система работает в режиме замкнутого контура и содержит датчики, определяющие параметры движения поезда (скорость, ускорение в двух плоскостях, наклон кузова); контроллер системы наклона (осуществляет обработку данных и подачу сигналов управления, требуемых для перемещения кузова); гидравлический модуль наклона и гидравлические цилиндры.

Упругие поперечные перемещения во вторичном рессорном подвешивании вагонов, установленных на обычные тележки, ограничены резиновыми упорами. При прохождении вагонами, оборудованными системой наклона кузова, кривых с высокой скоростью пассажиры постоянно ощущают удары кузова об эти упоры, что снижает плавность хода. Для смягчения хода кузов вагона поезда «Аллегро» центрируется пневмоцилиндрами по отношению к оси тележки таким образом, что удары при полном использовании упругого поперечного хода мягко гасятся. Увеличение жесткости поперечного рессорного подвешивания исключено благодаря специальной системе управ-

ления пневмоцилиндрами (система активной стабилизации кузова).

Как отмечалось ранее (см. п. 13.6) в электропоездах из вагонов с наклоняемыми кузовами обычная установка токоприемника на крыше невозможна, поскольку это вызовет его недопустимые отклонения относительно контактного провода. Токоприемник установлен на салазки, которые связаны с рамой тележки посредством двух тяг и обеспечивают центрирование — устойчивое положение токоприемника при наклоне кузова. Тяги включают в себя демпферы, которые компенсируют вибрационные воздействия от пути (рис. 16.15, см. также гл. 13).

Система наклона кузова, предусмотренная на электропоезде Sm6, оснащена управляющим компьютером, обеспечивает выполнение следующих операций:

- наклон кузова каждого вагона электропоезда на криволинейных участках пути;
- возврат каждого вагона в исходное положение;
- аксиальное (поперечное) смещение кузова относительно оси пути.

Масса кузова вагона приложена к наклоняющейся надрессорной балке 2 (рис. 16.16) и вторичной ступени рессорного подвешивания. Таким образом, на пневматические цилиндры 3 системы активной стабилизации кузова масса вагона не воздействует. Они функционируют только на криволинейных участках пути и являются механически независимыми, но связаны логически системой управления, которая воздействует одновременно на механизмы наклона кузовов 4 вагонов и механизмы их стабилизации в продольном направлении. Цилиндры наклона кузова закреплены на нижней поверхности надрессорной балки корпуса тележки и на верхней поверхности поворотного ударника тележки.

Движение кузова относительно тележки обеспечивается за счет прицепных шатунов. Таким образом, тележка электропоезда «Аллегро» имеет достаточно сложную конструкцию, поэтому размещение в ней



Рис. 16.15. Токоприемник электропоезда в опущенном положении

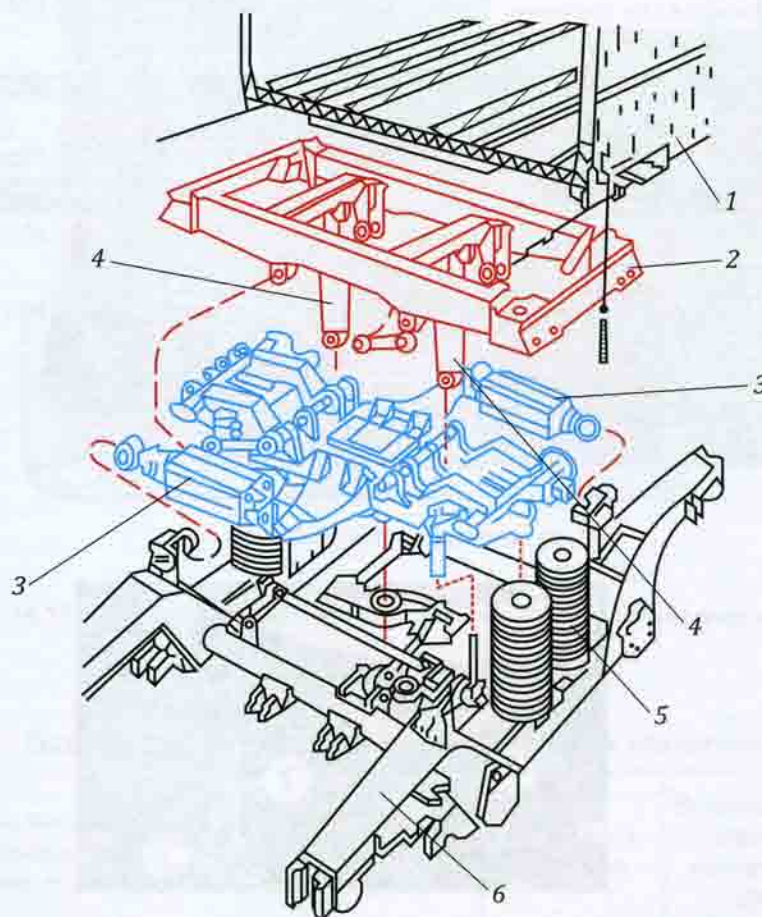


Рис. 16.16. Упрощенная схема системы наклона и связи кузова вагона с тележкой (подробно см. рис. 13.77): 1 — кузов вагона; 2 — надрессорная балка тележки; 3 — пневматические цилиндры активной стабилизации кузова; 4 — гидравлические цилиндры системы наклона кузова; 5 — цилиндрические пружины центральной системы подвешивания; 6 — рама тележки.

тягового привода не представляется возможным. Выходом из такой ситуации является подвешивание двигателя на раме кузова (см. п. 13.6) и передача вращающего момента через карданный вал. Рассмотрим более подробно конструкцию тягового привода.

16.2.4. Тяговый привод

Тяговые двигатели крепятся к раме кузова. На рис. 16.17 и 16.18 показано, что на моторных тележках электропоезда «Аллегро» вращающий момент передается только на одну ось (красная стрелка). Поезд имеет 4 моторных вагона, следовательно, тяговых осей — восемь.

Говоря о тяговом приводе, необходимо отметить основные характеристики тягового электродвигателя. Тяговый двигатель (ТД)

представляет собой асинхронную шестиполусную трехфазную машину, которая получает питание от инверторов, расположенных на моторных вагонах. Фазное напряжение ТД — 1205 В, ток — 211,2 А. При таких входных параметрах двигатель имеет номинальную мощность 564,8 кВт и максимальную скорость вращения 3121 об/мин, КПД — 93,5 %. Двигатель оснащен датчиками угловой частоты вращения и температуры.

16.2.5. Тяговые характеристики электропоездов «Аллегро» и «Сапсан»

Сравним тяговые характеристики поездов «Аллегро» и «Сапсан» (рис. 16.19). Графики на рисунках показывают, что поезд «Аллегро» имеет меньшую силу тяги из-за меньшего числа тяговых двигателей, но и

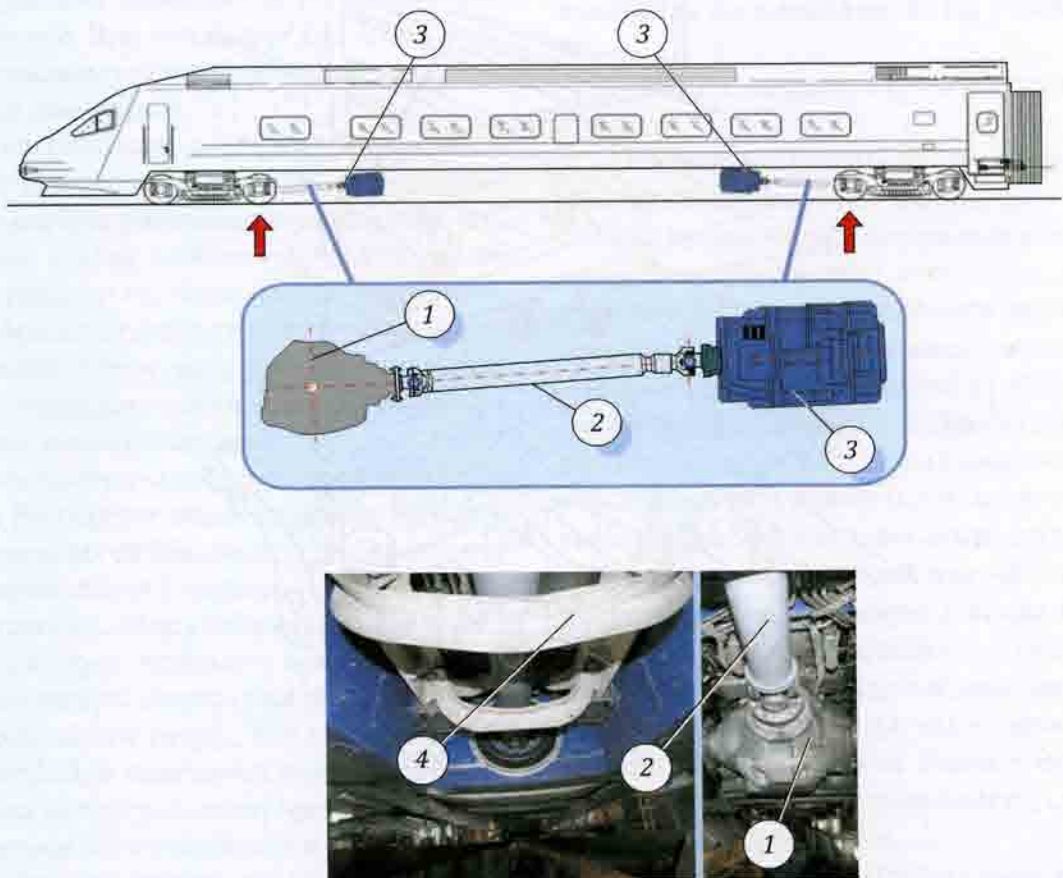


Рис. 16.17. Схематическое изображение вагона, внешний вид и узлы крепления тягового привода (под кузовом вагона): 1 — конический редуктор; 2 — карданный вал; 3 — асинхронный тяговый двигатель; 4 — предохранительные скобы для предотвращения падения карданного вала на путь

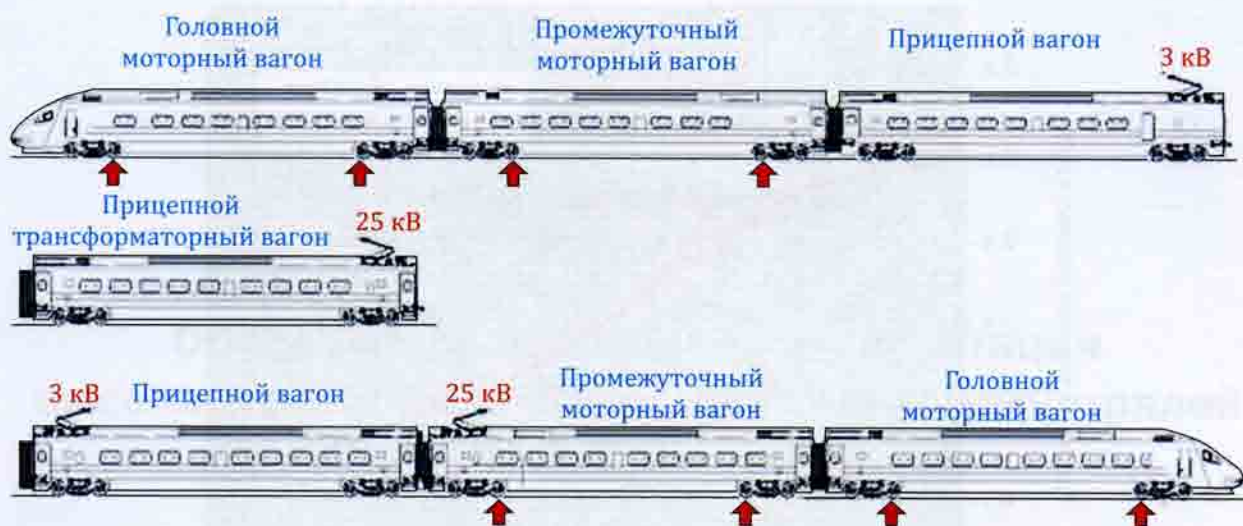


Рис. 16.18. Распределение моторных осей по составу

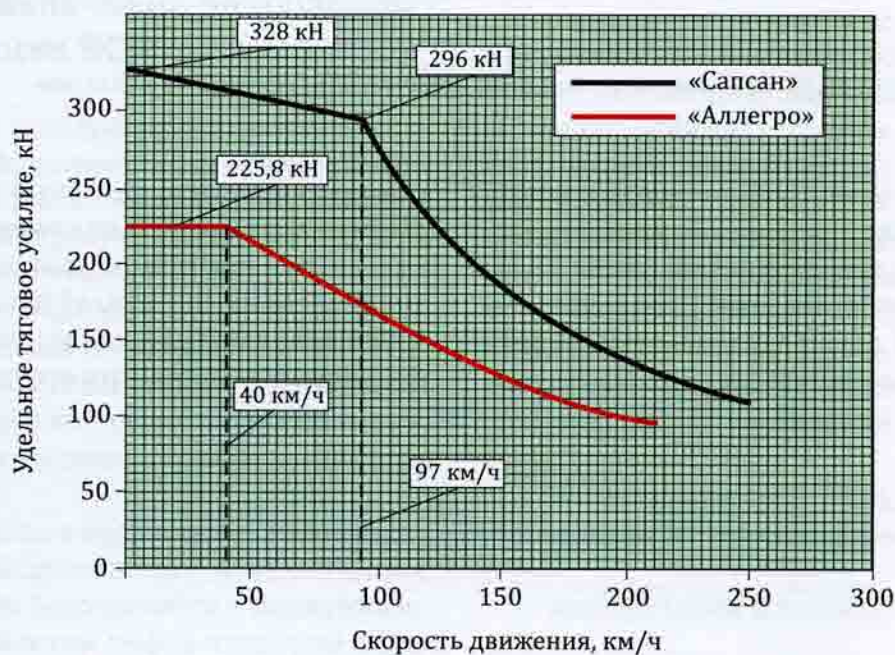


Рис. 16.19. Тяговые характеристики поездов «Сапсан» и «Аллегро»

Таблица 16.5

Тяговые характеристики поездов «Сапсан» и «Аллегро»

Вид поезда	Масса поезда с пассажирами, т	Общее число вагонов	Число моторных вагонов	Число тяговых осей	Номинальная мощность двигателя, кВт	Удельная мощность поезда, кВт/т
«Сапсан»	667,0	10	4	16	513,0	12,3
«Аллегро»	444,3	7	4	8	564,8	10,2

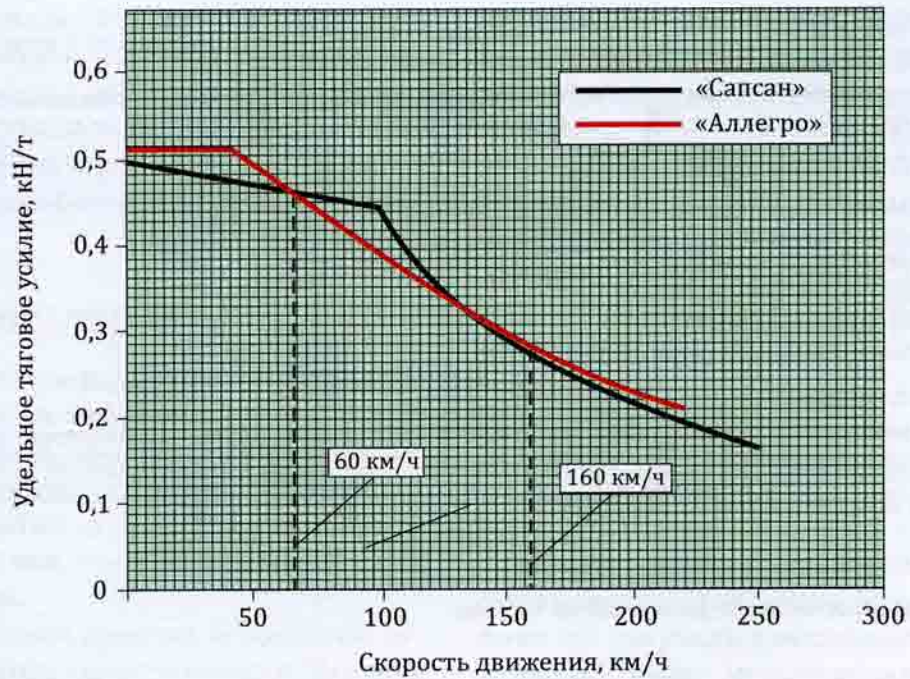


Рис. 16.20. Удельные значения силы тяги поездов «Сапсан» и «Аллегро»

меньшую массу, чем поезд «Сапсан». Поэтому его удельная мощность близка к удельной мощности поезда «Сапсан» (табл. 16.5).

Далее сравним значения удельных тяговых усилий двух поездов в зависимости от скорости движения (рис. 16.20). Из диа-

граммы видно, что удельные значения силы тяги двух поездов отличаются незначительно, так как при меньшем (в два раза) числе тяговых двигателей поезд «Аллегро» имеет вдвое меньше, чем у поезда «Сапсан», прицепных вагонов: три против шести.

Глава 17

Обеспечение безопасной эксплуатации высокоскоростных железнодорожных магистралей

17.1. Организационное и нормативное обеспечение безопасной эксплуатации ВСМ

Безопасная эксплуатация высокоскоростного железнодорожного транспорта, являющегося сложной технико-технологической системой, требует слаженной работы всех железнодорожных хозяйств, а также комплексного подхода к организации и совершенствованию системы обеспечения безопасности на основе современных технических и управленческих подразделений, на которые возложено решение следующих задач:

- разработка и постоянное совершенствование функциональных и технических требований по безопасности к подвижному составу и объектам инфраструктуры ВСМ;
- создание системы допуска технических систем в безопасную эксплуатацию на ВСМ, а также системы контроля качества и безопасности продукции предприятий-поставщиков для ВСМ;
- обеспечение безопасной эксплуатации, технического обслуживания и ремонта объектов ВСМ, исключение негативного влияния на состояние безопасности «человеческого фактора» за счет применения автоматизированных и автоматических систем;
- внедрение систем менеджмента качества и безопасности создаваемой ВСМ перево-

зочной услуги на основе современных стандартов (например, стандарт ISO 9001).

В современных условиях технологии производства и эксплуатации систем ВСМ строятся на основе концепции *жизненного цикла*, предполагающего наличие процедур анализа риска и доказательства безопасности (рис. 17.1). При этом анализ отказов технических систем, приводящих впоследствии к нарушениям безопасности движения, показывает, что более половины причин всех отказов закладывается на самых ранних стадиях жизненного цикла, а именно:

- разработка требований к системе ~ 44 %;
- проектирование ~ 15 %;
- монтаж и пусконаладочные работы ~ 6 %;
- эксплуатация и техническое обслуживание ~ 15 %;
- модификация и замена оборудования ~ 20 %.

В табл. 17.1 приведены основные факторы и связанные с ними причины нарушений безопасности движения, возникающие на этапе эксплуатации и технического обслуживания объектов железнодорожного транспорта, в том числе — ВСМ.

Китайские исследователи, получившие в последние годы возможность анализа большого массива данных, собранных при строительстве и в процессе эксплуатации высокоскоростных железнодорожных магис-

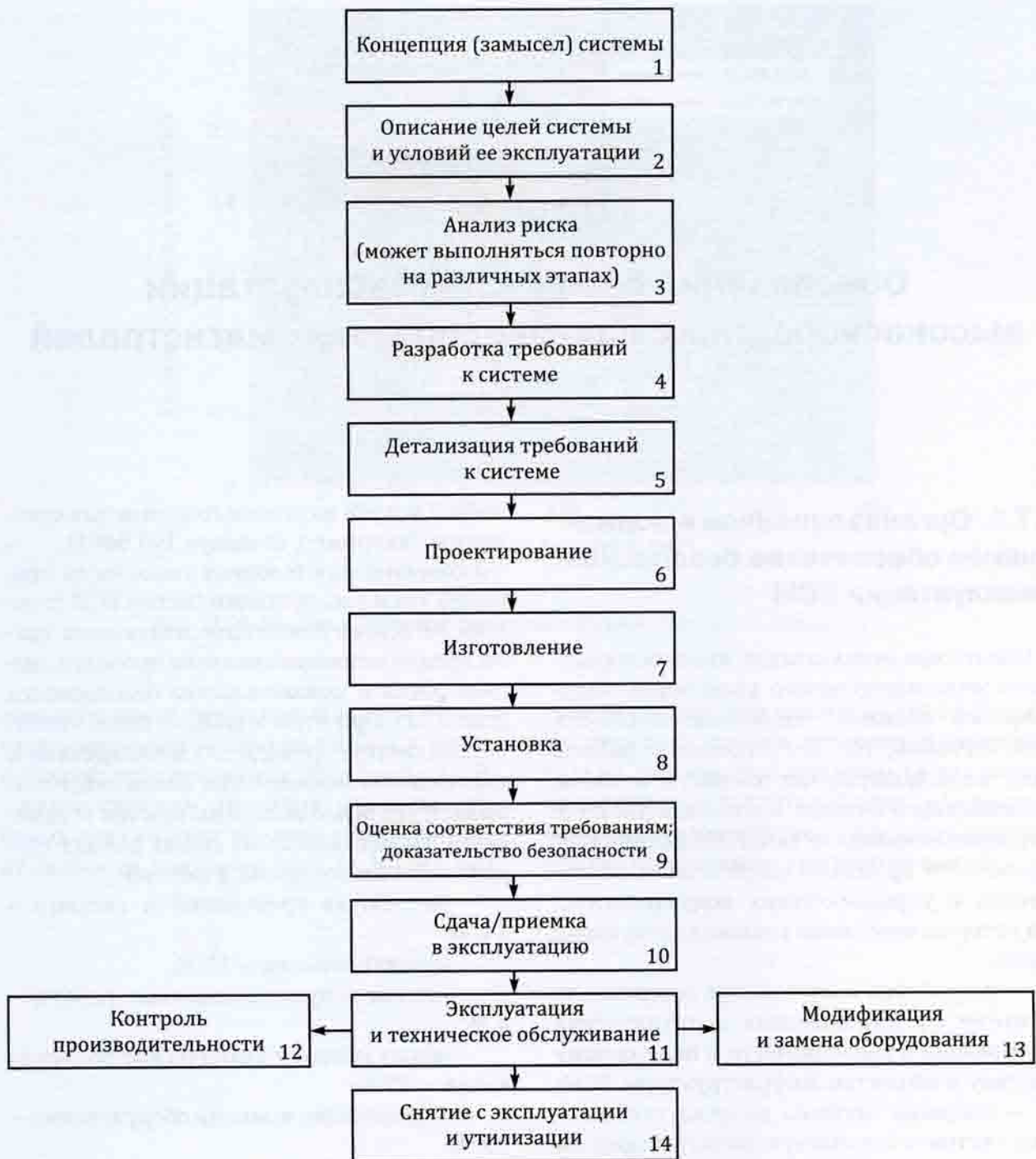


Рис. 17.1. Жизненный цикл технических систем, например, ВСМ

тралей, предлагают следующий перечень опасных явлений, которые могут привести к катастрофическим последствиям на ВСМ: ошибки проектирования; производственные дефекты или дефекты исполнения проектных решений; отказ технических устройств; нарушение правил эксплуатации;

ошибки в правилах, нормативных документах и принятых управленческих решениях; природные катастрофы; внешние вмешательства в систему ВСМ (несанкционированные действия посторонних людей, включая случайные непреднамеренные, а также, вандализм, террористические проявления

Факторы и причины нарушений безопасности движения

№ п/п	Факторы	Причины
1	Технический фактор	Неэффективное использование технических средств обеспечения безопасности движения. Нарушения нормативов содержания технических средств. Отказы технических средств. Недостаточная надежность информационных систем. Неадекватность используемых моделей реальным условиям эксплуатации. Другие причины
2	Человеческий фактор («культура безопасности»)	Низкая квалификация и профессиональная некомпетентность. Сокращения отказов и отступлений от нормативов. Чрезмерная интенсификация труда, нарушение режима труда и отдыха. Недостаточная мотивация. Бездействие персонала в чрезвычайных ситуациях. Другие причины
3	Организационный фактор (система управления)	Неэффективная организационная структура управления безопасностью движения. Недостаточная полнота и противоречивость нормативной базы. Слабое использование современных информационных и управленческих технологий. Недостатки ресурсного обеспечения. Другие причины
4	Природные факторы	Ураганы; ливни; землетрясения; наводнения; лавины; камнепады; оползни; туман; резкие температурные изменения; другие причины

и т.п.) и другие. При этом приводят следующие статистические данные о распределении указанных причин, если в сумме принять их за 100 % (рис. 17.2). Отмечается, что с человеческим фактором связаны около 33 % всех причин, создающих риск катастрофических последствий.

Для предупреждения рисков, возникающих на всех этапах жизненного цикла ВСМ, требуется организация системы анализа опасных факторов и принятия эффективных управленческих решений. Например, в Европейском Союзе (ЕС) за регулирование безопасности обычного и высокоскоростного железнодорожного транспорта отвечает Европейское железнодорожное агентство (ERA), в состав которого входит управление безопасности (рис. 17.3). В каждом государстве ЕС существуют свои национальные органы регулирования железнодорожной безопасности.

Вопросами проектирования железнодорожной безопасности в ЕС занимаются европейские институты, ведущие исследования в области железнодорожного транспорта (CENELEC, ERRI, IRSE и др.), а также различные ассоциации производителей и пользователей железнодорожных технологий (например, Европейская ассоциация железнодорожной промышленности UNIFE) и крупные компании.

Основным нормативным документом, регламентирующим вопросы обеспечения безопасности движения на железных дорогах ЕС (в том числе — ВСМ), является Директива Европейского парламента и Совета ЕС 2004/49/ЕС «О безопасности железных дорог Сообщества». К документам более низкого уровня относятся технические спецификации по эксплуатационной совместимости (TSIs); общие показатели, методы и цели в области безопасности, а также стан-

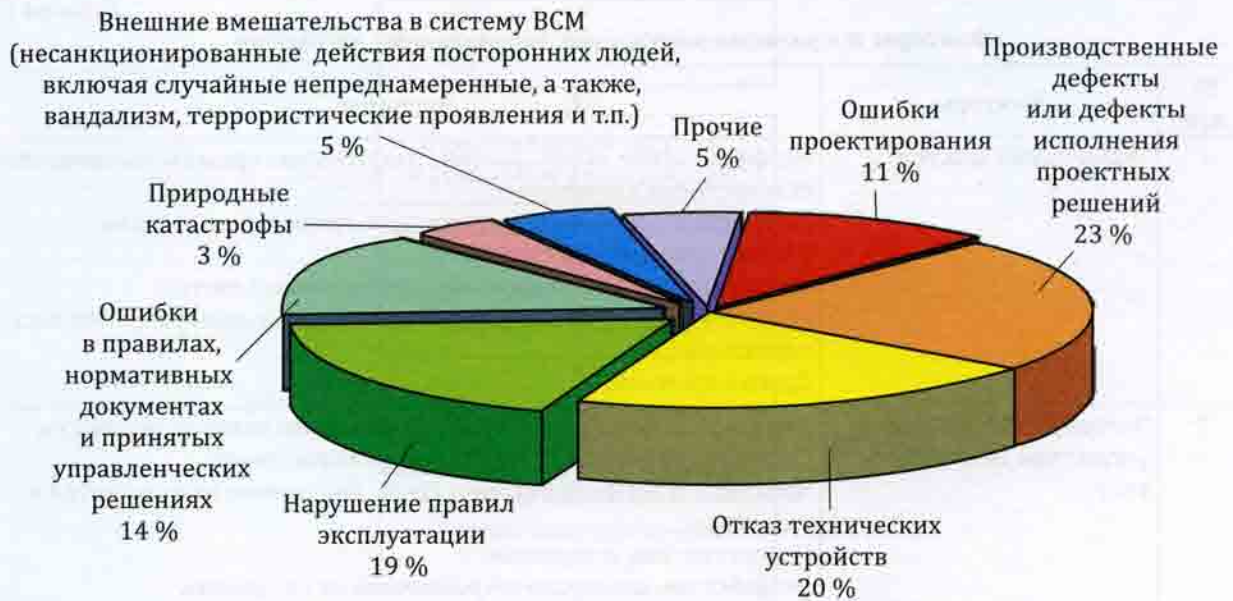


Рис. 17.2. Распределение опасных явлений, которые могут привести к катастрофическим последствиям на BSM

дарты железнодорожной безопасности, важнейшими из которых являются стандарты Комитета CENELEC (EN 50126, EN 50128, EN 50129 и др.); многие из них Международной электротехнической комиссией приняты в качестве международных стандартов в области железнодорожной безопасности.

Важнейшим техническим решением по обеспечению безопасности на обычных и высокоскоростных железнодорожных линиях ЕС является внедрение системы ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System/European Train Control System — Европейская система управления железнодорожными перевозками/Европейская система управления движением поездов), которая использует цифровой стандарт сотовой связи GSM-R.

В России вопросы технической безопасности, а значит и вопросы обеспечения безопасной эксплуатации обычных и высокоскоростных железнодорожных линий, определяются вступившим в силу с 1 июля 2003 г. Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

В соответствии с этим федеральным законом национальная нормативная база безопасности является двухуровневой. На

первом уровне располагаются технические регламенты (ТР), принимающиеся в форме Федеральных законов или Постановлений Правительства РФ и устанавливающие обязательные для исполнения требования по безопасности к продукции и связанным с ней процессам. На втором уровне находятся национальные стандарты (ГОСТ Р) и признанные в этом качестве межгосударственные стандарты (ГОСТ) и своды правил, исполняемые на добровольной основе для подтверждения соответствия требованиям ТР.

С помощью ТР устанавливаются минимально необходимые требования по безопасности, определяющие необходимый качественный уровень безопасности. Количественные показатели, используемые при изготовлении и подтверждении соответствия продукции и связанных с ней процессов этим требованиям, содержатся в национальных стандартах и сводах правил, гармонизированных с соответствующим ТР. Такой подход позволяет оперативно изменять количественные характеристики в соответствии с техническими и технологическими изменениями в целях обеспечения благоприятной среды для инноваций. Принимаемые на добровольной основе стандарты необ-

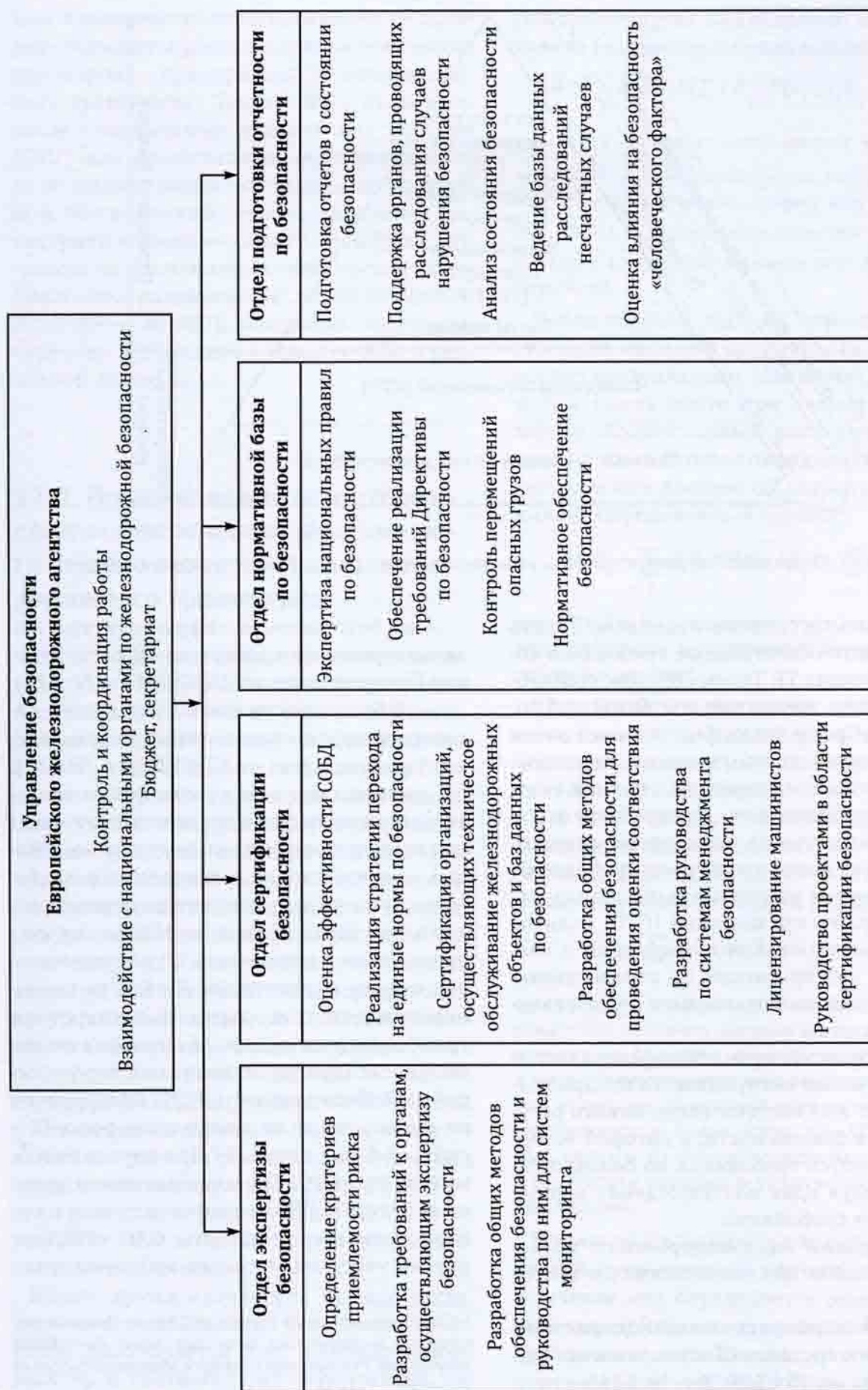


Рис. 17.3. Структура Управления безопасности Европейского железнодорожного агентства



Рис. 17.4. Структура нормативной базы управления промышленной безопасностью в России

ходимы для того, чтобы правильно понять и выполнить обязательные требования соответствующих ТР. Таким образом, стандарты являются доказательной базой соблюдения ТР. Кроме этого, федеральный закон предусматривает использование различными организациями своих собственных стандартов, необходимость в разработке которых возникает тогда, когда требования, содержащиеся в них, превышают требования, установленные национальными стандартами. Стандарты организаций (СТО) должны содержать требования к продукции и связанным с ней процессам, не определенные в ТР и национальных или межгосударственных стандартах.

Таким образом, с принятием федерального закона в России выстраивается изображенная на рис. 17.4 система технического регулирования безопасности, в которой «сверху» спускаются требования по безопасности, а «снизу» идет подтверждение выполнения этих требований.

В отношении железнодорожного транспорта приняты три технических регламента:

— «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (Постановление Правительства от 15.07.2010 г. № 524);

— «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» (Постановление Правительства от 15.07.2010 г. № 525);

— «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» (Постановление Правительства от 15.07.2010 г. № 533).

В соответствии с постановлениями технические регламенты вступают в силу через три года со дня официального опубликования, а до этого срока должны быть разработаны и утверждены соответствующие стандарты и своды правил, необходимые для применения и исполнения ТР и осуществления оценки соответствия. В области железнодорожного транспорта Министерством транспорта утверждаются «Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации»¹ (ПТЭ), «Инструкция по сигнализации на железных дорогах Российской Федерации» (ИСИ) и другие подобные инструкции. На корпоративном уровне действуют СТО; в данном случае — это корпоративные стандарты ОАО «РЖД» и других участников рынка железнодорожного

¹ В настоящее время в России действуют Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утверждены приказом Минтранс России от 21 декабря 2010 г.

ных перевозок и их объединений (например, стандарты различных некоммерческих партнеров — предприятий железнодорожного транспорта). Так, в 2009 г. были приняты 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), которыми определен перечень требований к проекту ВСМ в указанной области.

17.2. Планирование и подтверждение обеспечения безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта

Развитие высокоскоростного железнодорожного транспорта, внедрение современных технологий и систем управления потребовали разработки новой методики оценки безопасности движения, что впервые было сделано в Германии применительно к скоростному и высокоскоростному движению.

В этой методике вводятся понятия «планирование безопасности» и «подтверждение безопасности», которые тесно связаны между собой. Планирование безопасности означает обеспечение соответствия существующей или новой системы определенному уровню безопасности. Если предусмотренные при планировании мероприятия на последующих этапах частично меняются, то требуется подтверждение безопасности.

Планирование безопасности выполняется на основе расчета рисков и включает ряд последовательных этапов (рис. 17.5). При этом различают три категории риска, которые отражают позиции индивидуума, коллектива и общества.

Индивидуума интересует, прежде всего, степень его собственной безопасности, которая обозначается как *индивидуальный риск* R_i и соответствует вероятности не-

счастливого случая для отдельно взятого человека (например, за день или за год):

$$R_i = \sum_j P(E_j) P(T_i/E_j) P(V_i/T_i E_j), \quad (17.1)$$

где $P(E_j)$ — вероятность аварии или крушения; $P(T_i/E_j)$ — вероятность того, что человек станет участником аварии или крушения; $P(V_i/T_i E_j)$ — вероятность того, что человек пострадает (погибнет) в результате аварии или крушения.

Коллективный риск R_0 отражает общественное мнение и ориентирован на количество пострадавших (погибших), которое может иметь место при аварии или крушении. Коллективный риск соответствует значению, которое определяется по статистическим данным об авариях и крушениях за определенный период:

$$R_0 = \sum_j P(E_j) P(N_j/E_j) = \sum_i R_i,$$

где $P(N_j/E_j)$ — вероятность того, что в результате аварии или крушения пострадает (погибнет) N человек.

Статистически ожидаемое значение R_0 идентично сумме индивидуальных рисков всех пострадавших (погибших) в результате аварии или крушения.

Что касается *общественного риска* R_c , то он является разновидностью коллективного риска и дополнительно учитывает так называемую масштабность рисков:

$$R_c = \sum_j P(E_j) P(N_j/E_j) \phi(E_j),$$

где $\phi(E_j)$ — коэффициент масштабности, посредством которого оцениваются катастрофы, особенно с большим количеством жертв. Например, столкновение двух поездов, при котором погибают 10 человек, воспринимается общественностью более остро, чем 600 несчастных случаев на железнодорожных переездах, в результате которых в течение года погибли 100 человек.

Индивидуальный риск жителя большого города стать жертвой несчастного случая в течение дня определяется вероятностью порядка 10^{-6} . Следовательно, для создания психологического «запаса прочности» вероятность несчастного случая при поезд-

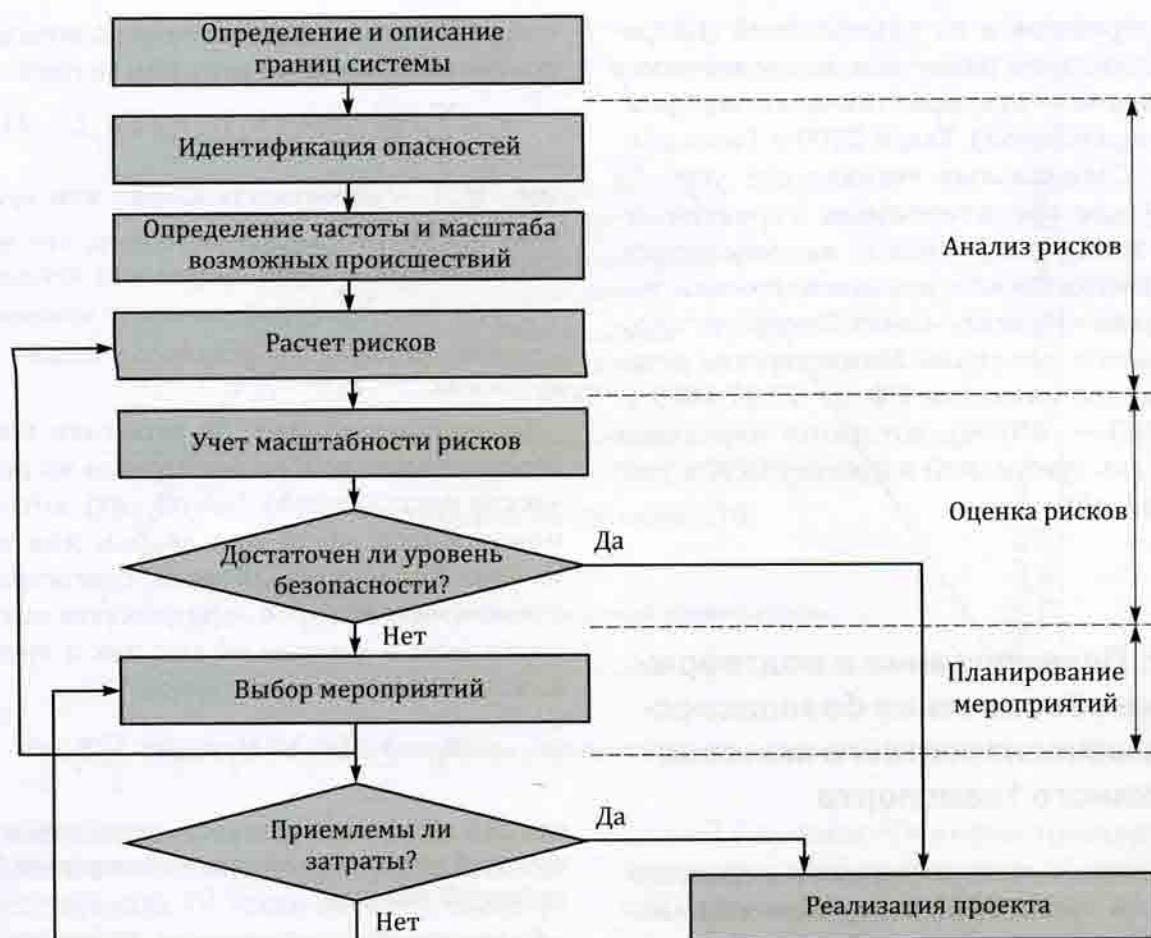


Рис. 17.5. Этапы планирования безопасности

ке на ВСМ должна быть не больше этой величины — на практике она порядка 10^{-7} — 10^{-8} . По мнению специалистов транспортных и страховых компаний наибольшее значение имеет коллективный риск, так как на его основе прогнозируется ущерб и планируются затраты на профилактику нарушений безопасности движения.

Подтверждение безопасности строится на основе расчетов индивидуальных рисков, которые для пассажиров и работников ВСМ не должны превышать заданной (приемлемой) величины.

Высокий уровень безопасности ВСМ базируется на научном предвидении возможных отказов отдельных устройств и всестороннем анализе их причин для последующего учета при проектировании технических систем. В арсенале научных методов

для исследования причин нарушений безопасности и их последствий ведущее место занимает компьютерное моделирование, которое проводится по следующим направлениям:

- математическое моделирование разрушений при авариях и крушениях с целью определения наиболее слабых звеньев технической системы и разработка рекомендаций по последующему их усилению (например, оптимальное расположение мест для пассажиров);

- имитационное моделирование сходов подвижного состава на различных скоростях и возможных последствий для разработки мер по их минимизации;

- моделирование отказов и сценариев развития аварийных ситуаций для разработки превентивных мер;

— создание имитационных моделей аварийных ситуаций для отработки действий персонала.

Результаты моделирования помогают определить меры для обеспечения безопасности по каждому хозяйству железнодорожного транспорта.

Рассмотрим основные элементы методики определения рисков возникновения отказов. Именно отказы технических средств, наряду (часто — в совокупности) с «человеческим фактором», приводят к нарушениям безопасности движения.

Приведем наименования основных классов вероятности (частот появления) отказов и их качественное описание (определение численных значений вероятностей, соответствующих тому или иному классу, является предметом специальных исследований):

— частый отказ — отказ происходит часто, и опасность, связанная с ним, возникает постоянно;

— вероятный отказ — отказ на соответствующем этапе жизненного цикла точно произойдет несколько раз, и связанная с ним опасность ожидается постоянно;

— случайный отказ — отказ, возможно, произойдет несколько раз, и связанная с ним опасность также возникнет несколько раз;

— маловероятный отказ — отказ, возможно, произойдет один или несколько раз в течение всего жизненного цикла, и необходимо учитывать связанную с ним опасность;

— практически невероятный отказ — возникновение отказа выглядит невозможным, но вероятным, и связанную с ним опасность полностью исключить нельзя;

— невозможный отказ — отказ невозможен и связанная с ним опасность может быть полностью исключена.

При этом определение численных значений вероятностей, соответствующих тому или иному классу, является предметом специальных исследований. Для расчета риска необходимо оценить вероятное воздействие отказа. В табл. 17.2 представлены описания типовых уровней тяжести отказов и их последствий.

Оценка риска осуществляется путем сопоставления в матрице «частота — последствия» вероятности появления отказа и тяжести его последствий. Тем самым устанавливается уровень риска, создаваемого отказом. Классификация рисков и меры, которые целесообразно предпринимать в том или ином случае, выглядят следующим образом:

— недопустимый риск — риск должен быть снижен безусловно;

— нежелательный риск — риск допустим, только если его снижение сопряжено с большими затратами (если возможно, то при этом должно быть установлено соглашение с руководством железной дороги или органом, осуществляющим контроль безопасности);

Таблица 17.2

Степени тяжести последствий отказов

Степень тяжести последствий отказа	Последствия для людей и окружающей среды	Последствия для железнодорожной системы
Катастрофические	Смертельные случаи и (или) значительный ущерб здоровью людей и окружающей среде	Прекращение движения
Критические	Смертельный случай и (или) значительный ущерб здоровью людей и окружающей среде	Выход из строя одной из основных систем железной дороги
Ограниченные	Незначительный ущерб здоровью и (или) значительная угроза окружающей среде	Серьезное повреждение одной или нескольких систем
Незначительные	Возможен незначительный ущерб здоровью	Минимальные повреждения

Оценка риска (матрица «частота/последствия»)

Частота появления отказа	Степени тяжести последствий отказа			
	Незначительная	Ограниченная	Критическая	Катастрофическая
	Степени риска			
Часто	Нежелательная	Недопустимая		
Вероятно	Допустимая			
Случайно		Нежелательная	Допустимая	
Маловероятно	Допустимая			
Практически невероятно	Пренебрежительно малая	Допустимая		
Невозможно				

– допустимый риск — риск допустим при наличии необходимой системы контроля и соответствующего соглашения с руководством железной дороги;

– пренебрежимый риск — риск допустим при наличии соответствующего соглашения с руководством железной дороги.

По представленным данным составляется матрица качественной оценки риска (табл. 17.3).

Для количественного определения степени тяжести последствий отказов необходима разработка специальной методики.

17.3. Обеспечение безопасности в различных хозяйствах ВСМ

Обратимся к примеру стран, имеющих большую практику строительства и эксплуатации высокоскоростных железнодорожных магистралей. В Испании, например, располагающей самой протяженной сетью ВСМ в Европе (2656 км по состоянию на середину 2013 г.), вопросы безопасности находятся в ведении государственного Национального управления безопасности на железнодорожном транспорте, которое в данной области контролирует деятельность организаций, управляющих инфраструктурой ВСМ, же-

лезнодорожные предприятия, как производителей железнодорожной техники, так и ремонтные предприятия, а также организации, осуществляющие обслуживание железнодорожных линий.

При проведении мероприятий по обеспечению безопасных условий эксплуатации ВСМ учитывается специфика функционирования тех или иных устройств и характер труда работников. В России в соответствии с Техническим регламентом «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта», инфраструктура высокоскоростного железнодорожного транспорта включает следующие компоненты.

1. Железнодорожный путь:

- верхнее строение пути;
- земляное полотно.

2. Искусственные сооружения:

- железнодорожные мосты;
- железнодорожные тоннели;
- водоотводные, противодеформационные, защитные и укрепительные сооружения;
- пешеходные мосты над железнодорожными путями;
- пешеходные тоннели под железнодорожными путями.

3. Контактную сеть, трансформаторные и тяговые подстанции (посты секционирования).

4. Системы, обустройства и оборудование сигнализации, централизации и блокировки на перегонах и станциях.

5. Системы, обустройства и оборудование железнодорожной электросвязи.

6. Железнодорожные станции, пассажирские платформы.

7. Устройства ограждения, шумозащитные сооружения.

8. Пересечения железнодорожных линий инженерными коммуникациями.

Надежность и безопасность ВСМ определяется свойствами перечисленных компонентов, а также характеристиками высокоскоростного подвижного состава.

Например, в *путевом хозяйстве* ВСМ основные усилия направляются на повышение прочности и устойчивости верхнего строения пути и земляного полотна. Для обеспечения надежности пути ВСМ применяют конструкции, обладающие малой интенсивностью накопления остаточных деформаций в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Особое внимание уделяется качеству рельсов как основному элементу верхнего строения пути. В *табл. 17.4* приведены допустимые нормативы изъятия рельсов по дефектам (выход рельсов) на железных дорогах Великобритании.

Безопасность ВСМ в значительной степени зависит от работы *устройств автоматики, телемеханики и связи*. Повышение

надежности этих устройств достигается многократным резервированием. При обнаружении серьезной ошибки программа переводит систему и ее выходные сигналы в защитное состояние (например, при разрыве рельса немедленно подается сигнал остановки).

В области *электрообеспечения* ВСМ основные усилия направляются на создание ветроустойчивых конструкций контактной сети с увеличенным подъемом контактного провода для предотвращения его обрыва.

Для повышения безопасности движения на ВСМ устанавливается ряд таких устройств, как датчики скорости и направления ветра, перегрева букс, заклинивания колесных пар, датчики волочащихся за поездом деталей, устройства контроля целостности мостовых конструкций, установки извещения о воздушных потоках в тоннелях и т.п.

По отношению к *подвижному составу* ВСМ большое внимание уделяется повышению надежности управления им и обеспечению безопасности пассажиров. Автоматический контроль всех систем и их функционирование осуществляется при помощи микропроцессорных устройств. Это дает возможность автоматически ограничивать скорость движения в зависимости от занятости впередилежащих блок-участков; обеспечивать автоматическую остановку поезда

Таблица 17.4

Нормативы выхода рельсов на железных дорогах Великобритании

Класс линии	Допустимое число изъятых рельсов на 100 км за год
Неспециализированная грузовая линия (без пассажирских перевозок и перевозок опасных грузов)	4,8—5,4
Основная грузовая линия	3,8—4,3
Линия по перевозке опасных грузов (без пассажирских перевозок)	3,2—3,8
Грузовая линия с ограниченными пассажирскими перевозками	2,15—3,2
Линия для пассажирских перевозок со скоростями движения до 160 км/ч	0,54—1,6
Линия для пассажирских перевозок со скоростями движения от 160 до 240 км/ч	0,27—0,54
Высокоскоростная пассажирская линия: скорость выше 240 км/ч	0,054

при неправильно приготовленном маршруте; выдавать на пульт управления машиниста сведения о неисправностях (например, о наличии ползунов на колесах, заклинивании колесных пар, состоянии тормозов и т.п.) и рекомендации по устранению неисправностей. Важную роль в повышении безопасности движения играет создание комфортных условий для работы машиниста с учетом требований эргономики.

Для обеспечения высокого уровня безопасности движения на ВСМ используется многоуровневая диагностика подвижного состава:

- постоянный текущий контроль в процессе движения с помощью бортовых и наземных датчиков и системы обработки данных;
- диагностика в депо;
- эксплуатационная проверка при приеме поезда машинистом.

Система технического обслуживания подвижного состава предусматривает предварительную передачу в депо информации с прибывающих поездов о неисправностях для организации подготовки к ремонту.

По статистике китайских железнодорожников в комплексе всех технических уст-

ройств ВСМ наиболее уязвимыми с точки зрения отказов в эксплуатации являются следующие устройства: 32 % отказов связано с искусственными сооружениями и устройствами пути; 19 % — с работой систем СЦБ и связи; 17 % — с эксплуатацией моторвагонного подвижного состава и 12 % — систем электроснабжения. Распределение остальных рисков представлено на рис. 17.6.

Уменьшение рисков возникновения отказов связывается с определенными действиями, направленными на улучшение всего комплекса мероприятий по проектированию, строительству ВСМ, выпуску машин, систем и оборудования, необходимых для ее эксплуатации и подготовки персонала. По прогнозу китайских специалистов, если общий результат улучшения принять за 100 %, то отдельные его компоненты могут обеспечить вклад, представленный диаграммой на рис. 17.7.

Немаловажное значение на ВСМ придается разработке рациональных технологий аварийно-спасательных работ по ликвидации последствий аварий, созданию универсальных аварийно-спасательных поездов для проведения операций по восстановле-

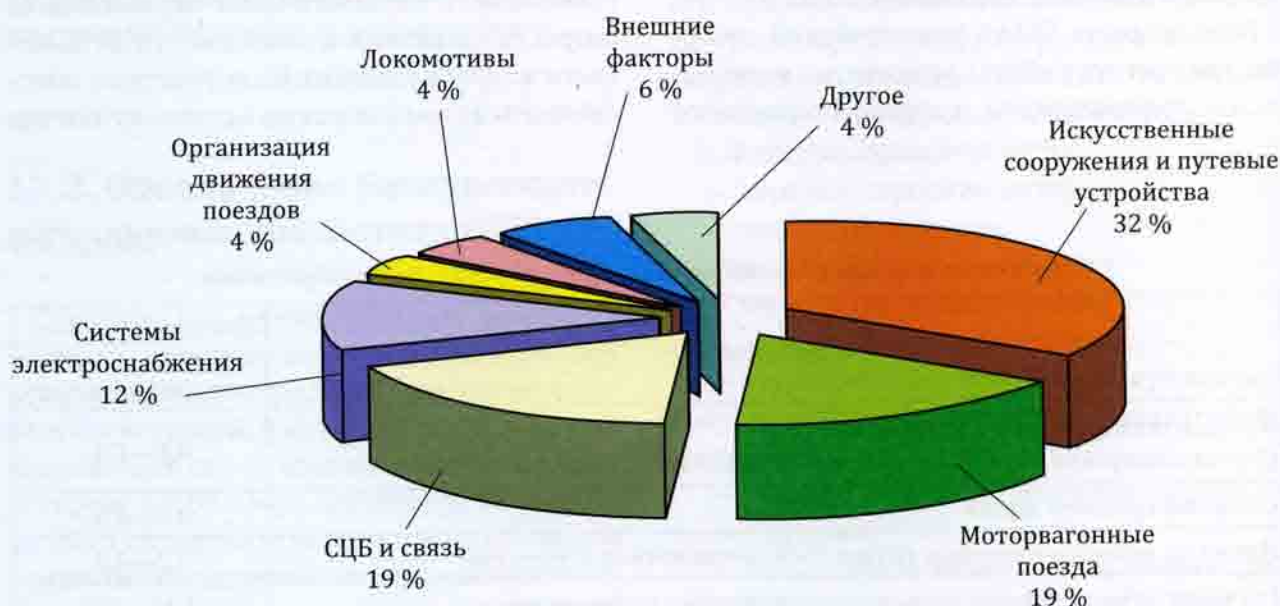


Рис. 17.6. Распределение рисков нарушения эксплуатации ВСМ, связанных с различными устройствами, оборудованием и видами деятельности по данным исследователей КНР

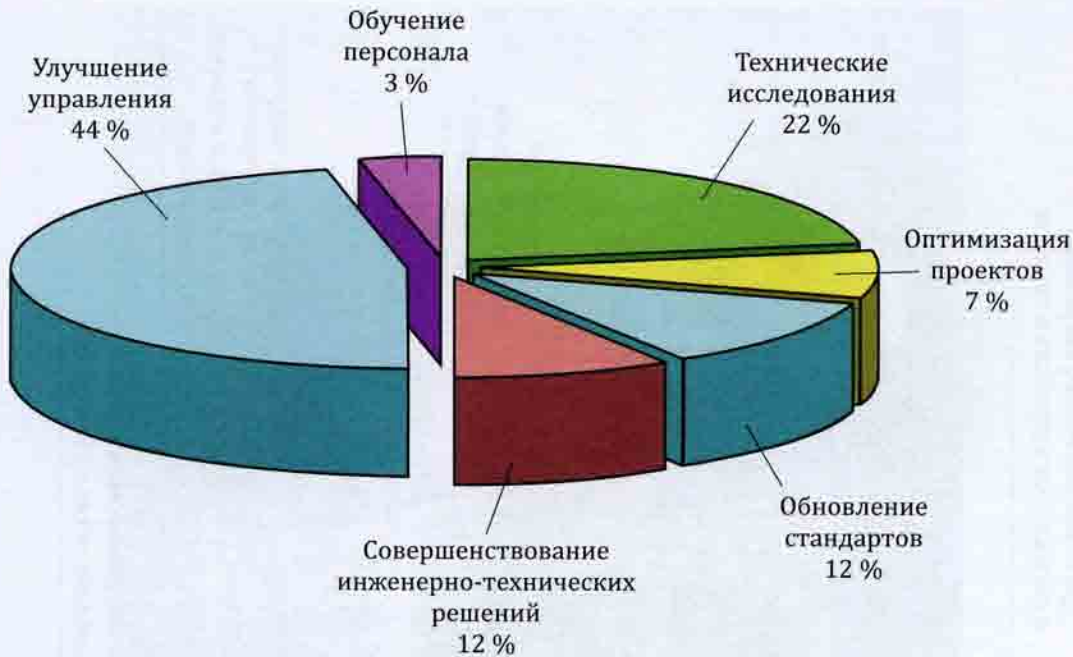


Рис. 17.7. Возможный вклад отдельных улучшений в общий результат повышения надежности ВСМ

нию движения, пожаротушению, эвакуации пострадавших и т.п. Особое внимание уделяется организации аварийно-восстановительных работ в труднодоступных местах (в тоннелях, на мостах и эстакадах).

На рис. 17.8 представлено изображение модели участка высокоскоростной японской линии Синкансэн, элементы и оборудование которой выполнены с учетом требований обеспечения безопасности. Одним из важнейших условий обеспечения безопасности ВСМ является ее обособление от других транспортных коммуникаций, ее полная изоляция: с устройством сплошного ограждения полосы отвода на станциях и перегонах (рис. 17.9); с использованием систем видеонаблюдения и контроля доступа, т. е. создание условий, при которых становится маловероятным несанкционированное проникновение в полосу отвода посторонних людей, диких и домашних животных.

Все пересечения с другими коммуникациями: автомобильными и железными дорогами, пешеходные переходы устраиваются в разных уровнях. Автомобильные путепро-

воды снабжаются специальными датчиками целостности ограждения, которые срабатывают в случае его нарушения и дают об этом сигнал в центр управления движением (рис. 17.10). Несмотря на наличие автоматических и автоматизированных систем обеспечения безопасности важным фактором ее поддержания является регулярный периодический визуальный контроль состояния устройств пути, искусственных сооружений, контактной сети и элементов системы электроснабжения, осуществляемый обходчиками. На высокоскоростных железных дорогах Японии Синкансэн, при наличии у путевых обходчиков средств радиосвязи, обязательным остается размещение вдоль пути кнопок подачи сигнала экстренной остановки поезда. Кнопки крепятся на опорах контактной сети или элементах искусственных сооружений (рис. 17.11).

В контексте вышесказанного дадим сравнительную характеристику основных факторов, определяющих особенности обеспечения безопасности ВСМ в сопоставлении с обычными железными дорогами (табл. 17.5).

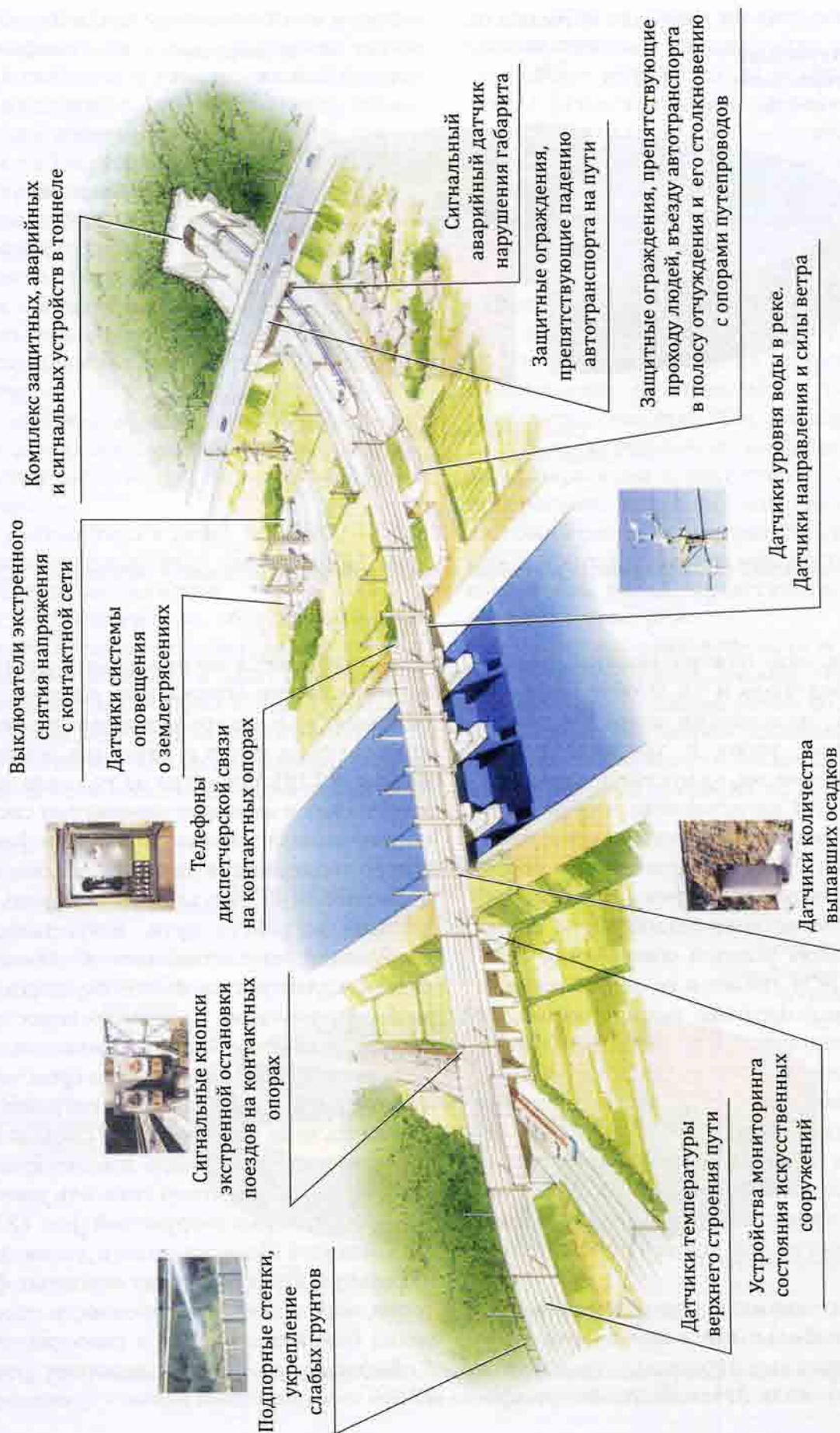


Рис. 17.8. Комплекс устройств обеспечения безопасности ВСМ на примере модели участка японской линии Синкансэн

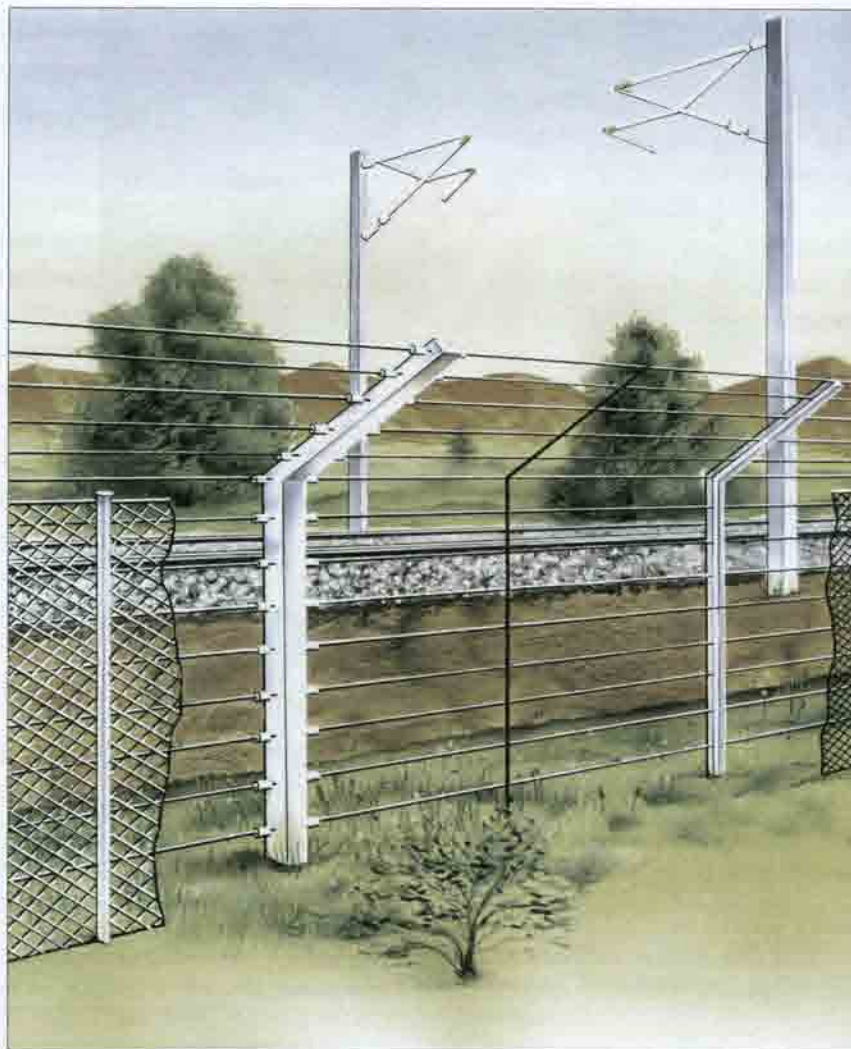


Рис. 17.9. Схематическое изображение ограждения полосы отвода ВСМ Мадрид—Севилья; осуществляется сплошным забором из металлической сетки по внешнему контуру и устройствами с проволоочными датчиками регистрации проникновения посторонних в полосу отвода

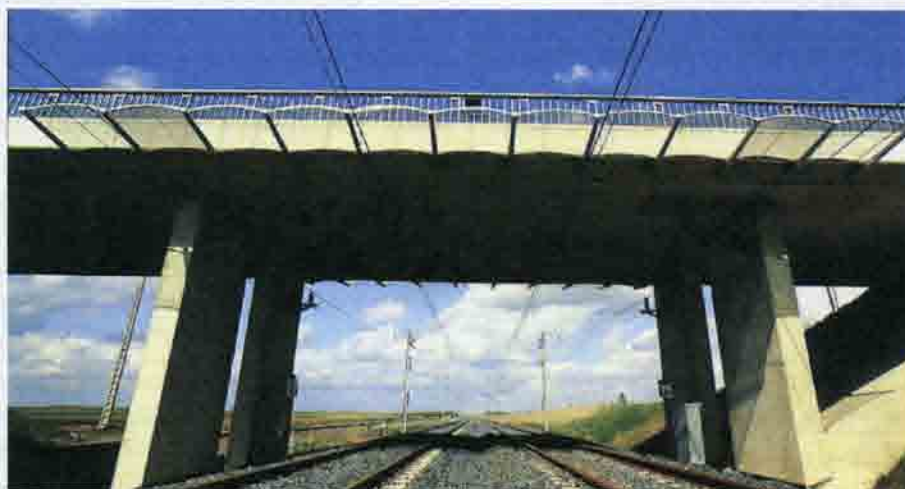


Рис. 17.10. Автомобильный путепровод над ВСМ; защитно-сигнальные рамы соединены с датчиками целостности ограждения, срабатывающими в том случае, если автомобиль сбивает ограждение путепровода. Франция



Рис. 17.11. Сигнальная кнопка экстренной остановки поезда, размещенная на подпорной стенке ВСМ «Кюсю». Япония. 2010 г. Для подачи сигнала экстренной остановки поезда необходимо выдернуть чеку, отвернуть защитную крышку красного цвета, сорвав при этом пломбу, а затем — нажать кнопку

Таблица 17.5

Сопоставление основных факторов обеспечения безопасности на обычных и высокоскоростных железных дорогах

Обычные железные дороги	Высокоскоростные железные дороги
Вероятность аварий выше, чем на ВСМ. Основная направленность профилактики — недопущение повторных аварий по сходным причинам	Аварии крайне редки, но могут приводить к тяжелым последствиям. Обязательно их моделирование с целью минимизации ущерба
На практике допускается эксплуатация транспортных средств сверх нормативного срока службы с документальным подтверждением возможности такой эксплуатации	Не допускается эксплуатация транспортных средств сверх нормативного срока службы. Необходима проверка и подтверждение соответствия нормам безопасности при высоких скоростях. Обязательная замена узлов и элементов, выработавших ресурс эксплуатации
На практике допускается недостаточная квалификация части персонала	Не допускается использование персонала, не отвечающего квалификационным требованиям. Мотивация персонала более высокая, чем на обычных железных дорогах
Проводится периодический контроль состояния безопасности	Проводится постоянный мониторинг состояния безопасности по ходовым показателям

17.4. Природные риски обеспечения безопасности высокоскоростных железных дорог

Рассмотрим более подробно природные условия, которые могут спровоцировать нарушения функционирования высокоскоростных железнодорожных магистралей. Под природными рисками понимаются экстремальные природные события, которые могут привести к перерыву движения поездов, для предотвращения чего должны быть приняты чрезвычайные меры. Французские ученые, подготовившие доклад в рамках исследований, проводившихся по заказу МСЖД, выделяют в этой связи следующие экстремальные природные явления:

- высокая температура наружного воздуха;
- солнцепек, эксплуатация устройств в условиях местности с высокой интенсивностью солнечного света (разделяют аномально высокую температуру наружного воздуха при различных состояниях его влажности: относительно низкой и относительно высокой);
- низкая температура наружного воздуха, быстрые перепады температуры/обледенение;
- снегопады;
- сход лавин;
- быстрое изменение величины влажности или очень высокая влажность воздуха;
- сильный ветер;
- высокое запыление, наличие в воздухе песка;
- ливни;
- наводнения, цунами;
- грозы;
- оползни;
- камнепады;
- сейсмические явления;
- сильные природные пожары, в том числе окружающие объект;
- воздействие на приборы и оборудование соли из естественных источников (пыль морской воды, засоленные пески, поднятые в воздух, и т.п.);

- слой опавших листьев на железнодорожных путях;
- туман — смог.

Помимо этого, в некоторых районах мира могут возникать специфические риски, весьма экзотичные для мировой практики в целом, например, песчаные заносы путей в зоне пустынь; сезонная массовая миграция через железнодорожные пути животных, в том числе мелких, а также насекомых, движение которых невозможно предотвратить устройством заграждений, и др.

Для некоторых явлений определены количественные пороговые значения, которые отделяют обычные условия от экстремальных. Для разных стран в зависимости от климатических условий характерны определенные явления: различные сезонные температуры наружного воздуха, скорость ветра, количество выпавших осадков. Так, во Франции для ВСМ «Средиземноморье» при превышении ветром скорости 130 км/ч, вводятся ограничения на движение поездов по отдельным участкам. Для многих других природных явлений пока не установлены или не согласованы определенные численные ограничения опасных значений.

Рассмотрим, какую опасность для нормального функционирования ВСМ представляют некоторые природные явления. Среди них есть очевидные, например, такие, как землетрясения (к этому вопросу обратимся далее), сходы снежных лавин, камнепады, оползни, наводнения, которые могут разрушить рельсовый путь, искусственные сооружения, создать непосредственные препятствия движению поездов или безопасной эксплуатации. Предотвращение негативных последствий этих явлений, как и многих других, осуществляется еще на стадии проектирования ВСМ. Проводятся различные изыскания и исследования на местности; изучается соответствующая историческая информация; учитывается статистика указанных явлений; рассматриваются варианты трассы, проектируются надлежащие искусственные сооружения и защитные устройства. Постоянный контроль состояния опасных участков осуществляет

ся в процессе эксплуатации, принимаются превентивные меры, например, по обрушению ненадежных горных пород, принудительному спуску лавин, что, однако, не всегда возможно.

Как правило, воздействие низкой температуры наружного воздуха рассматривается в комплексе с последствиями обильных снегопадов. Экстремально низкая температура наружного воздуха приводит к увеличению расхода энергии на тягу поездов, негативно влияет на работу таких устройств, как системы электроснабжения, СЦБ, на функционирование стрелочных переводов. При низких температурах изменяются, большей частью с ухудшением их конструкционных качеств, свойства синтетических материалов, пластика, резины, используемых во всевозможных прокладках, уплотнителях, трубопроводах, в рельсовых скреплениях и др. При проектировании ВСМ, для учета указанных факторов используют климатические карты, показывающие районы экстремально низких температур и максимального выпадения снега (рис. 17.12).

Разработаны меры по снижению воздействия низких температур и большого количества выпавшего снега на инфраструктуру, методы борьбы со снеготаносами: снеготаносаждение, специальные лесопосадки и расстановка ограждений, которые принципиально не отличаются от применяемых на обычных линиях. Ведется механизированная очистка от снега путей с применением плужных, роторных и других снегоочистителей, а на станциях — специальных снегоуборочных поездов. Применяют электрообогрев и обдув сжатым воздухом стрелочных переводов с целью предотвращения налипания и уплотнения между остриями и рамными рельсами снега, препятствующего плотному прижатию элементов стрелки.

На ряде ВСМ Японии, проходящих по территории северо-восточных районов с обильными зимними снегопадами, головные вагоны всех находящихся в эксплуатации пассажирских высокоскоростных поездов оборудованы снегоочистителями в виде симметричных плугов, которые отбрасывают снег в обе стороны от пути в предусмотренные продольные канавы (рис. 17.13).

а



Рис. 17.12 (начало). Снежные заносы на ВСМ: а — высокоскоростной поезд серии BM71, сброшенный с рельсов сошедшей снежной лавиной (Норвегия)



Рис. 17.12 (окончание): б — высокоскоростной поезд серии Е3 Восточной японской железнодорожной компании, остановленный снежным заносом. Япония



Рис. 17.13. Поезд серии 200 со снегоочистителем на головном вагоне. Япония

Для обеспечения работы стрелочных переводов в ряде стран, в частности, Японии, Швеции, Норвегии, при обильных снегопадах используются установки орошения водой стрелочных переводов, на пути укладываются маты с электрообогревом (рис. 17.14).

Учет факторов природного риска должен производиться на стадии проектирования. На высокоскоростном подвижном

составе, предназначенном для работы в условиях снежных зим, — север Швеции, Норвегия, северо-восток острова Хонсю в Японии, северо-восток России и другие территории в конструкции ряда узлов — ходовая часть, кузова, системы вентиляции, кондиционирования воздуха в вагонах, охлаждения электрооборудования, принимаются специальные технические решения.

Так, подвагонное пространство с находящимся там оборудованием закрывается снизу и с боков гладкими металлическими или пластмассовыми кожухами (иногда, с их обогревом), препятствующими налипанию снега; устраиваются кожухи, защищающие от снега детали тележек, тормозные диски (рис. 17.15). В системах вентиляции во входных каналах наружного воздуха размещают сепараторы, отделяющие снег от воздуха и препятствующие его проникновению в салоны вагонов, устройства кондиционирования и охлаждения (рис. 17.16).

В некоторых случаях, как это сделано в вагонах поезда «Сапсан», воздухозаборные отверстия перемещены из нижней части кузова на крышу вагона, для чего была увеличена длина воздухопроводов и занята под них часть пространства пассажирских салонов. Сильный ветер, особенно боковой, не только увеличивает сопротивление дви-

а



б



Рис. 17.14. Орошение участка пути ВСМ водой. Восточная японская железнодорожная компания

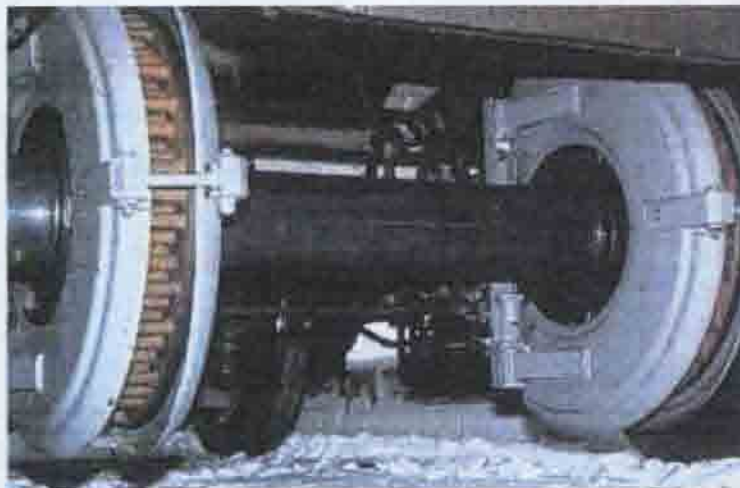


Рис. 17.15. Тормозные диски с защитными щитками для зимней эксплуатации на тележке высокоскоростного поезда X2000. Швеция

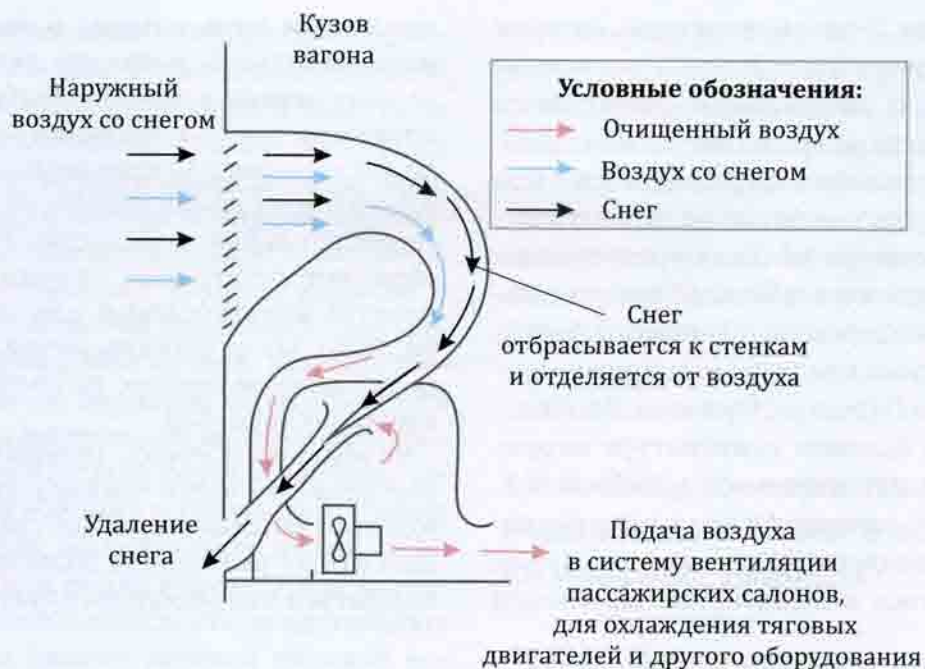


Рис. 17.16. Схема работы сепаратора-центрифуги для отделения снега от воздуха в системах забора воздуха японских высокоскоростных поездов

жению поездов, что вызывает излишний расход энергии на тягу, но может также при определенных обстоятельствах стать причиной опрокидывания подвижного состава. Особенно это опасно для двухэтажных прицепных вагонов, имеющих относительно высокое расположение центра масс (например, французские высокоскоростные поезда TGV Duplex, японские поезда MAX E1, MAX E2).

Указанные проблемы решают на стадии проектирования принятием определенных технических решений: выбор конструктивных вариантов подвижного состава; учет условий прохождения трассы, устройство защитных противоветровых стенок (рис. 17.17). Организуют также автоматические метеорологические посты, на которых производится постоянное измерение скорости и определение направления ветра с пере-

Рис. 17.17. Ветрозащитная стенка на ВСМ. Франция.



дачей данных в автоматическую систему управления движением. В случае появления информации о превышении допустимого уровня скорости ветра в сочетании с некоторым направлением, определенными для данного участка как опасное, автоматически вырабатывается команда предупреждения для дежурного персонала, управляющего движением. Определенные нормы фиксирования опасных пределов в настоящее время приняты в Германии, Франции, Японии.

Чрезмерно высокая температура наружного воздуха, интенсивное воздействие солнечных лучей приводят к опасности так называемого «температурного выброса пути», выражающегося в характерном изменении

положения пути в плане в результате самопроизвольной разрядки температурного напряжения в рельсах. Выброс пути сопровождается образованием за время около 0,2 с резкого искривления рельсов (до 0,3—0,5 м на длине 20—50 м) с волнами в горизонтальной плоскости. Рельсы приобретают остаточные деформации и становятся непригодными для работы в пути, часть шпал раскалывается, разрушается балластная призма, из которой сбрасывается часть щебня.

Необходимые нормы содержания пути, в том числе и в части температурных напряжений, закладываются на стадии выбора проектных решений и должны строго соблюдаться в процессе эксплуатации.

Таблица 17.6

Результаты сравнительного анализа состояния уровня знаний и мер противодействия природным рискам (начало 2010-х гг.)

Природные риски	Природные риски	Меры по противодействию рискам
Известные риски	Сильный ветер	Известны комплексные методы защиты
	Сейсмические явления	Накоплена информация, как по частоте проявления, так и по последствиям землетрясений; развиваются технологии сейсмостойкого строительства и разрабатываются меры по снижению тяжести последствий от землетрясений для ВСМ
	Низкие температуры	Известны методы защиты, развиваются технические средства и технологические приемы снижения негативного влияния. Нерешенным остается вопрос об обеспечении нормальных условий жизнедеятельности и комфорта пассажиров в случае длительной остановки высокоскоростных поездов в условиях низкой температуры наружного воздуха (прекращения работы систем отопления)
	Камнепады	Имеются карты опасных районов. Известны методы определения опасных мест и способы защиты
Малоизвестные риски	Наводнения, цунами	Известны карты районов угрозы наводнений. Создаются местные системы оповещения. От экстремальных наводнений, цунами способы защиты не разработаны.
	Высокие температуры наружного воздуха	Известны методы наблюдения за состоянием рельсов и предупреждения их выбросов. Нерешенным остается вопрос обеспечения комфорта пассажиров в случае длительной остановки поездов при перерыве энергоснабжения (остановка систем вентиляции и кондиционирования воздуха).
	Опавшие листья	Составляются карты зон риска
	Круговые пожары	Постоянное наблюдение, оперативные меры предупреждения

Чрезмерно высокая температура наружного воздуха опасна также для нормальной работы электрооборудования и электроустановок, в частности, трансформаторных подстанций, тягового оборудования электроподвижного состава, воздушных кондиционеров вагонов и вокзальных помещений.

Высокое запыление воздуха, наличие в воздухе мелких частиц песка опасно для систем охлаждения, вентиляции, кондиционирования. Особое внимание обратить на это пришлось разработчикам высокоскоростного подвижного состава для ВСМ, которые сооружаются в Марокко и Саудовской Аравии (2013 г.). Для эксплуатации линий ВСМ, расположенных вдоль морского или океанского побережья, опасность представляют мельчайшие брызги соленой морской воды, которые не только способствуют коррозии металлических частей и деталей, но также опасны для электрооборудования, изоляторов, токоведущих деталей.

В период интенсивного листопада в лесных районах возникает опасность сплош-

ного покрова рельсов листьями, что приводит к резкому снижению сцепления колес с рельсами при торможении. Опасность представляет также массовое попадание насекомых в зону контакта колес с рельсами.

В табл. 17.6 приведены результаты сравнительного анализа современного состояния уровня знаний и возможных мер противодействия природным рискам на ВСМ.

17.5. Высокоскоростные железнодорожные линии в сейсмически опасных районах

Более 20 % территории России подвержено сейсмическим воздействиям. В частности, к районам сейсмической опасности относятся Северный Кавказ и Черноморское побережье, обширные районы Сибири и Дальнего Востока (рис. 17.18). Здесь ведется активное строительство и в перспек-

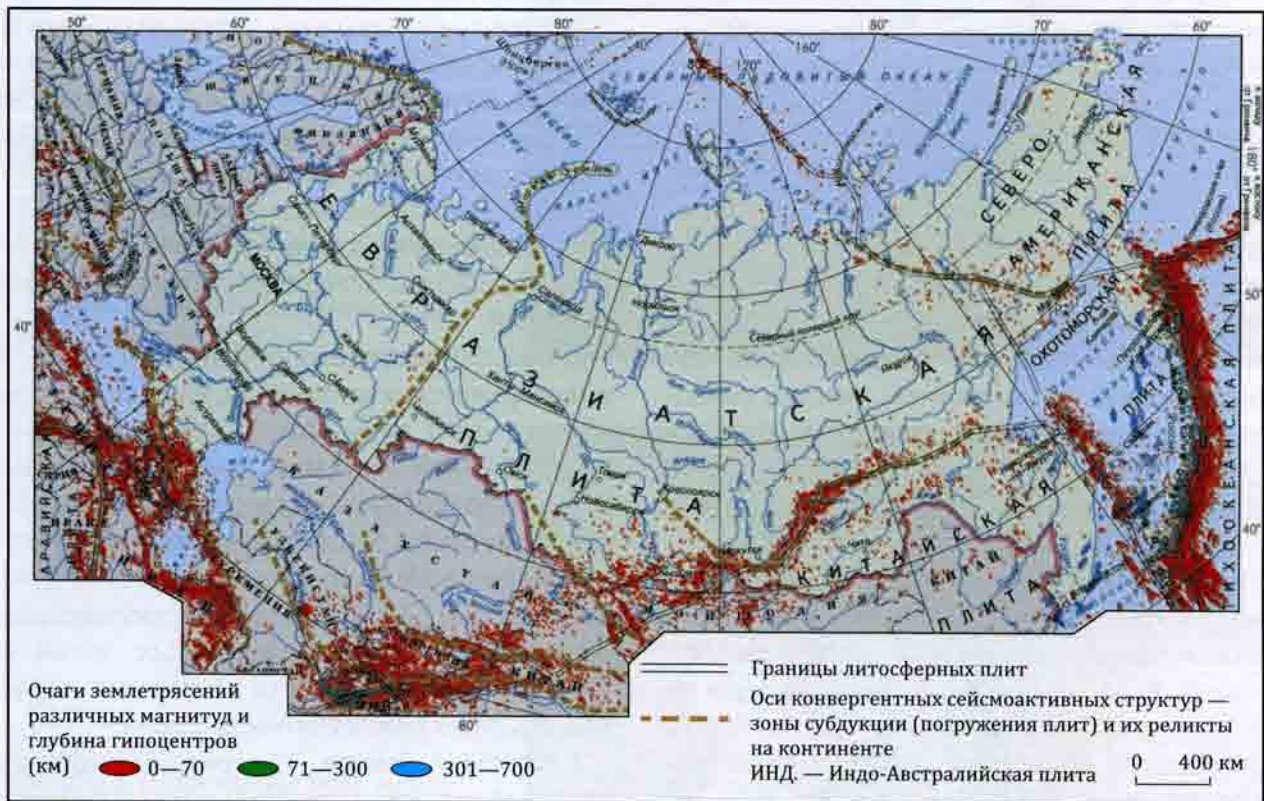


Рис. 17.18. Карта сейсмичности территории России и сопредельных регионов

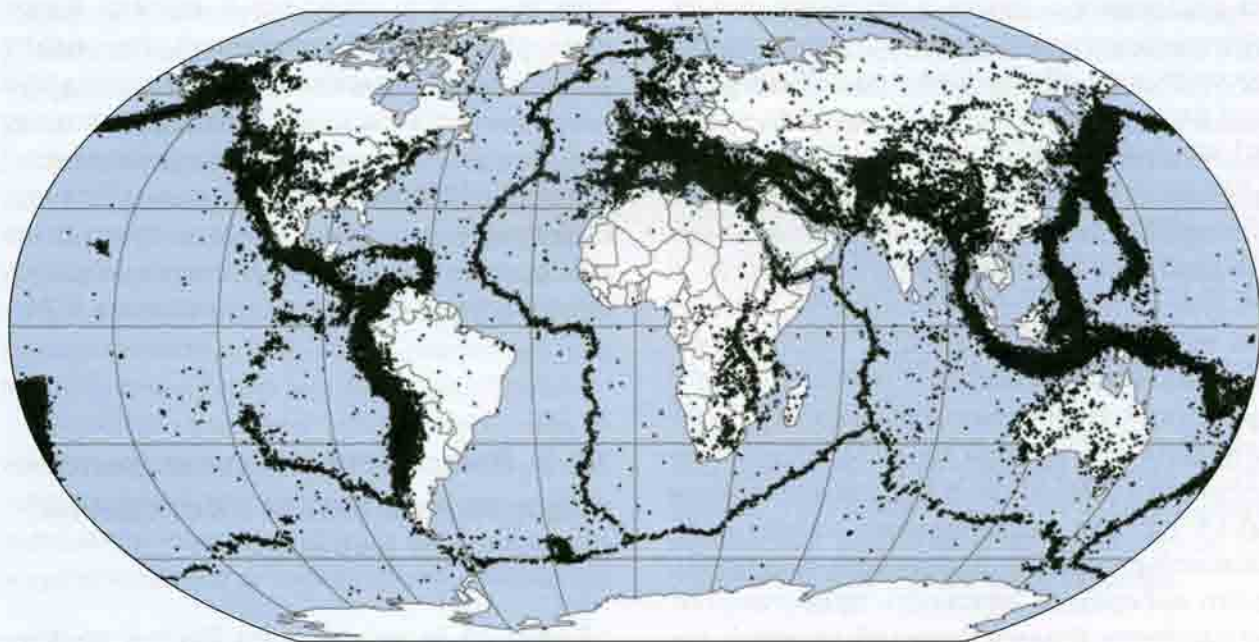


Рис. 17.19. Расположение эпицентров 358 214 землетрясений, произошедших в период с 1963 по 1998 г.

тиве планируется сооружение высокоскоростных железнодорожных магистралей. В связи с этим задача обеспечения их сейсмостойкости приобретает особое значение. Как следует из информации, представленной на карте (рис. 17.19), построенные к настоящему времени ВСМ в Западной Европе, Японии и других странах Юго-Восточной Азии, расположены в зонах активных сейсмических процессов¹. Проблемы сейсмостойкости высокоскоростных линий решают в ряде стран мира, прежде всего, в Японии, где вся железнодорожная сеть подвержена сейсмическим воздействиям. Отдельные высокоскоростные участки расположены в сейсмически активных областях Италии, Испании, Франции.

Сооружение высокоскоростных железных дорог должно удовлетворять не только общим требованиям, предъявляемым к сейсмостойкому строительству, но и специфическим, связанным с особенностями эксплуатации ВСМ. Общие требования содержатся в нормативно-технических документах всех стран, подверженных сейсмическим воздействиям. В развитие этих базовых до-

кументов разработаны рекомендации по проектированию различного рода специальных сооружений, к числу которых относятся транспортные объекты.

Общие требования строительных норм и правил к сейсмостойкому строительству в полной мере справедливы и для объектов высокоскоростных линий. Наряду с этим при их проектировании необходимо учитывать и сложившиеся требования к железнодорожному строительству в сейсмических районах, исходя из следующих соображений.

1. При землетрясениях в первую очередь повреждаются, как правило, насыпи и верхнее строение пути. После 7-балльных воздействий, как минимум, требуется сплошная рихтовка пути. При разрушительном землетрясении эти повреждения носят катастрофический характер. В качестве примера на рис. 17.20 показаны последствия повреждения железнодорожных путей в районе станции Налбанд в Армении после Спитакского землетрясения 1988 г.

2. Мосты, тоннели, галереи, подпорные стены обладают относительно высокой сейсмостойкостью. Это связано с тем, что нагрузка на искусственные сооружения от

¹ Уломов В.И. Сейсмичность // Национальный атлас России. В 2 т. Т. 2. Природа. Экология. 2007. С. 56—57.

подвижного состава железных дорог соизмерима с нагрузкой от 7-балльных сейсмических воздействий. Тем не менее, при 8 баллах уже возникают повреждения опор и опорных частей мостов, а при 9-балльных землетрясениях опоры получают заметные повреждения: происходит разрушение тела опоры; скол неармированных оголовков опор; крен фундаментов; сдвиг устоев в пролет; разрушение опорных частей и сброс пролетных строений с опор (рис. 17.21). Возникают повреждения и разрушения порталных участков тоннелей. Подпорные стены и галереи сдвигаются в сторону пути.

Указанные повреждения даже в небольшом объеме приводят к необходимости трудоемких и длительных ремонтно-восстановительных работ. Именно восстановление мостов определяет сроки возобновления эксплуатации железных дорог пос-

ле сильных землетрясений. Рассматриваемые сооружения поэтому относят к числу так называемых барьерных объектов, и их антисейсмическому усилению придается первостепенное значение. Требования к сейсмостойкости мостов и тоннелей изложены в действующих нормах всех стран, подверженных сейсмическим воздействиям.

Анализ данных о проектировании, строительстве и эксплуатации ВСМ в высокосейсмичных районах за рубежом показал, что отмеченные выше общие принципы сейсмостойкости транспортного строительства нуждаются в некоторой корректировке для высокоскоростных железных дорог в части ужесточения норм.

Ущерб от перерыва движения на высокоскоростных магистралях (экономические потери для железнодорожной компании, государства и пассажиров, социальный дискомфорт для значительных масс населения)

Рис. 17.20. Разрушение верхнего строения пути в районе станции Налбанд в Армении Спитакским землетрясением 7 декабря 1988 г.



Рис. 17.21. Повреждение опор виадука высокоскоростной железнодорожной линии «Санъё» при землетрясении в Кобе. Япония, 17 января 1995 г.



существенно больше, чем при инцидентах на обычных железных дорогах. В этой связи к конструкциям пути и других сооружений ВСМ предъявляются повышенные требования. В Японии, например, на ВСМ проводится усиление земляного полотна; значительные по протяженности участки линий проходят по эстакадам; верхнее строение пути на мостах и эстакадах укладывается на плитах с усиленным креплением рельсового пути. Эти меры, хотя и повышают стоимость строительства, но существенно сокращают время восстановительных работ после сильного землетрясения.

Аварии поездов ВСМ, например, на мостах, путепроводах, виадуках при высокоскоростном движении, такие, как опрокидывание подвижного состава, сход поезда с рельсов, самопроизвольное расцепление вагонов, разворачивание вагонов поперек пути, приводят к более тяжелым последствиям, чем на обычных железных дорогах. В этой связи на ВСМ в сейсмически опасных районах необходимо создание систем оповещения, сигнализации и блокировки, обеспечивающих, если не полную остановку поезда в момент землетрясения, то существенное снижение его скорости.

Характерные разрушения объектов ВСМ и последствия при землетрясении магнитудой 5,2, которое произошло 31 октября в 2004 г. на западном побережье о. Хонсю (Япония), показаны на рис. 17.22, 17.23. Вблизи эпицентра проходит линия «Дзёэцу Синкансэн».

Землетрясение и катастрофическое цунами 11 марта 2011 г. вызвали серьезные разрушения на линиях Восточной японской железнодорожной компании в регионах Тохoku (север о. Хонсю, крупнейший город Сендай) и Канто (восток о. Хонсю, крупнейшие города Токио и Иокогама). Произошли сход вагонов высокоскоростных поездов, которые, к счастью, не привели к человеческим жертвам благодаря тому, что сработали системы экстренного снижения скорости и остановки поездов при землетрясении. Движение на линиях Синкансэн было возобновлено через 49 дней в ограниченных размерах и с пониженной скоростью.

Самой эффективной мерой уменьшения разрушительных последствий на ВСМ в случае возникновения землетрясения является скорейшее снижение скорости движения поездов с максимально разрешенной



Рис. 17.22. Поезд «Дзёэцу Синкансэн», остановившийся на эстакаде во время землетрясения 31 октября 2004 г. — последний вагон, сброшенный с рельсов сейсмическим толчком

а



б



в

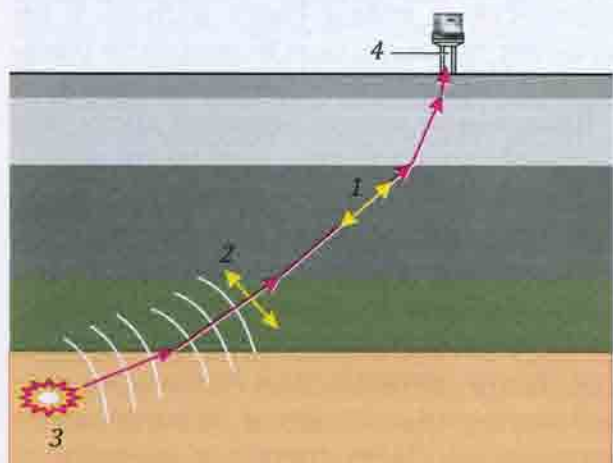


Рис. 17.23. Последствия землетрясения 31 октября 2004 г.: а — сорванное рельсовое крепление; б — искривленные и разрушившиеся в момент сейсмического толчка рельсы, уложенные на плитном основании на эстакаде; в — трещины в грунте у опоры эстакады

Рис. 17.24. Характер распространения сейсмических волн: 1, 2 — направление движения частиц соответственно в продольной и поперечной волнах; 3 — очаг землетрясения; 4 — сооружение на земле

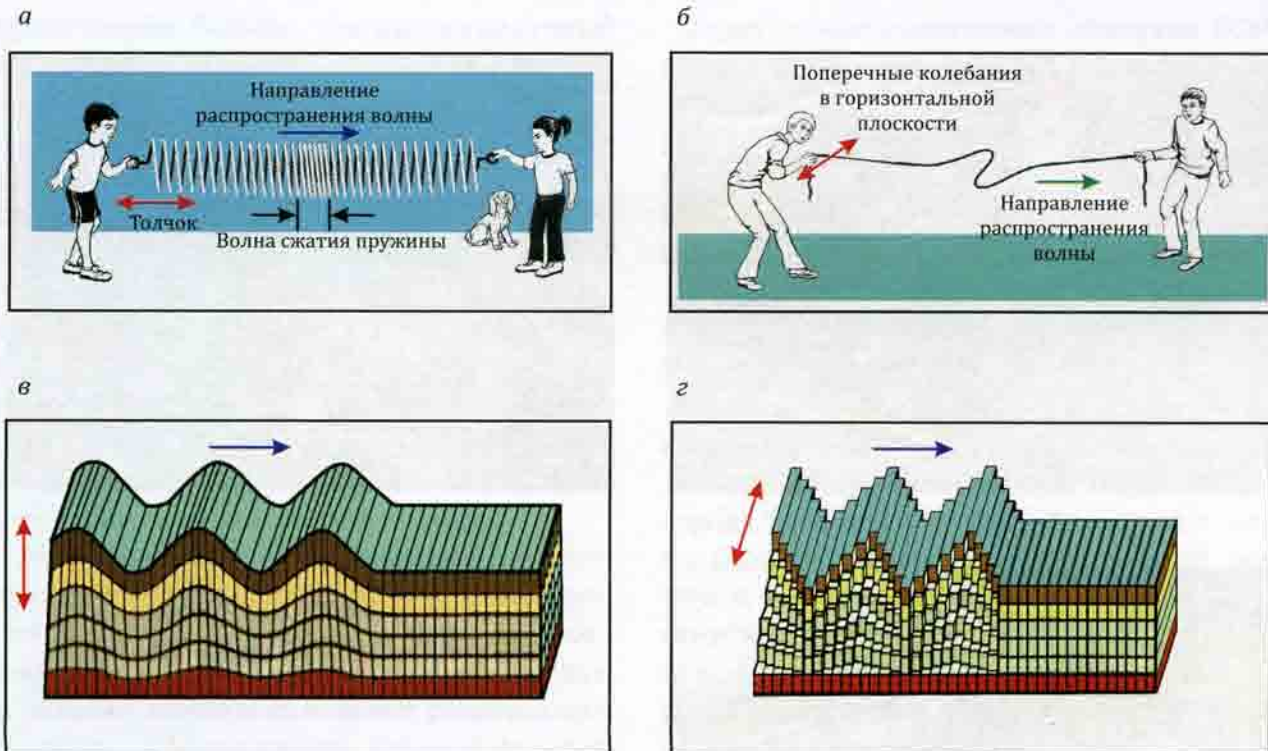


Рис. 17.25. Схематические изображения, поясняющие волновые явления: а, б — волны продольные и поперечные; в — волны Рэлея; г — волны Лява

вплоть до полной остановки. При аварийном экстренном торможении на это требуется около 1—1,5 мин.

Системы оповещения о произошедших землетрясениях, нашедшие применение в Японии, обладают свойством включать экстренное торможение поезда до подхода наиболее опасных сейсмических волн. Механизм работы этих систем основан на следующем.

При землетрясении возникают сейсмические волны четырех типов (рис. 17.24, 17.25): продольные, иногда именуемые «первичными», или «р-волны» (от англ.: primary), поперечные, называемые «вторичными», или «s-волны» (от англ.: secondary), а также поверхностные волны Рэлея (Рэлея) и волны Лява (или Лава)¹. Продольные и поперечные волны распро-

страняются непосредственно из очага землетрясения. Скорость продольных волн примерно в 1,5 раза быстрее, чем поперечных, поэтому они раньше достигают дневной поверхности. Из-за неоднородности грунтовой толщи происходит преломление фронта сейсмической волны и она приходит на дневную поверхность почти перпендикулярно (рис. 17.24). Продольные и поперечные сейсмические волны, отражаясь от дневной поверхности, вызывают поверхностные волны Рэлея и Лява. В результате точки дневной поверхности совершают 4 типа колебательных движений.

Продольные волны, первыми достигшие дневной поверхности, вызывают вертикальные колебания сооружения, сами по себе малоопасны. После достижения дневной поверхности поперечными сейсмическими волнами возникают наиболее опасные горизонтальные колебания поверхности грунта, приводящие к горизонтальным сейсмическим толчкам и к разрушению сооружений. Далее приходят поверхност-

¹ Английский физик лорд Дж. У. Рэлей (Rayleigh, до 1873 г. Стретт (или Стратт — Strutt) описал особый тип поверхностных акустических волн; английский математик А. О. Х. Ляв (Love), или Лав, также предсказал особый характер распространения акустических волн.

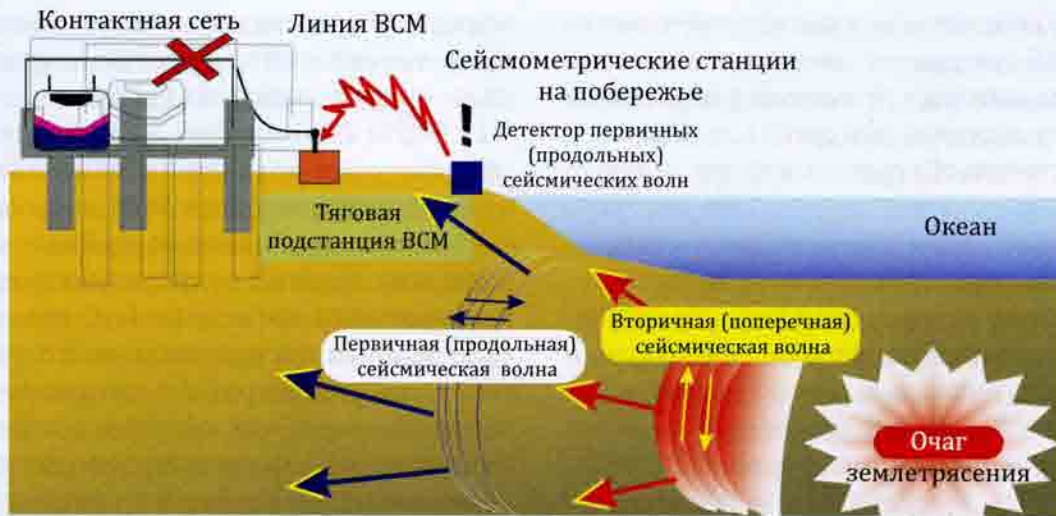


Рис. 17.26. Упрощенная иллюстративная схема системы оповещения о землетрясениях японских железных дорог

ные волны Рэлея и Лява, которые усугубляют разрушительное действие поперечных волн. Интервал времени между моментами подхода к сооружению сейсмических волн указанных типов зависит от глубины очага и эпицентрального расстояния и составляет обычно от 15 до 30 секунд.

Принцип действия системы оповещения о землетрясениях на высокоскоростных магистралях Японии (рис. 17.26) основан на том, что централизованная система датчиков (сейсмографов, акселерометров и т.п.) фиксирует и передает на посты управления сигнал о вертикальных малоопасных сейсмических толчках, поступающих от очага землетрясения; анализирует силу этих толчков, вычисляет положение очага землетрясения и в чрезвычайных ситуациях включает систему блокировки — дает команду на экстренную остановку высокоскоростных поездов на опасных участках ВСМ. При этом от момента начала торможения поезда до подхода к сооружению опасных сейсмических толчков проходит от 15 до 50 секунд. Этого оказывается достаточно для существенного снижения скорости движения поезда или его полной остановки.

Сейсмодатчики начали устанавливать на железных дорогах Японии в 1992 г., но их объединение в сеть было осуществлено только в 1995 г. после землетрясения в Кобе, разрушившего город и приведшего к

повреждениям высокоскоростной линии «Санъё». После этого землетрясения были приняты срочные меры по оценке сейсмостойкости и проведено антисейсмическое укрепление различных инженерных сооружений на высокоскоростных линиях. По распоряжению Министерства транспорта Японии в 1995 г. Западная железнодорожная компания начала работы по усилению 15 тыс. опор железнодорожных виадуков на высокоскоростной линии «Санъё». Вокруг опор устраивались металлические или железобетонные «рубашки», а пространство между «рубашкой» и опорой заполнялось особым цементным раствором. Кроме того, были приняты специальные меры против сброса пролетных строений с опор (установка стопоров, демпфирующих устройств, замена некоторых опорных частей на более прочные и др.).

В настоящее время высокоскоростные железные дороги Японии оснащены быстродействующими датчиками (детекторами) сейсмических колебаний, получившими наименование UrEDAS¹. Регистраторы землетрясения установлены вдоль высокоскоростной железнодорожной линии и в ряде точек на Тихоокеанском побережье. Каждый

¹ Urgent Earthquake Detection and Alarm System — англ.: Система быстрого обнаружения землетрясений и оповещения о них.

детектор сейсмических колебаний в системе UrEDAS соединен с персональным компьютером, который производит первичную обработку получаемых сигналов. Компьютеры датчиков объединены в сеть, и центральный компьютер (сервер) по поступающей информации о первичных волнах от различных регистраторов определяет местоположение очага и силу землетрясения. На основе выполняемого в центральном компьютере анализа в случае опасности автоматически подается команда «0» — снятие напряжения с контактной сети ВСМ, что является безусловным сигналом экстренного торможения всех находящихся на ВСМ поездов.

Высокоскоростные железные дороги Японии выдержали испытание одним из самых сильных за всю историю наблюдений в стране землетрясением магнитудой 9 по шкале Рихтера 22 марта 2011 г.

Сегодня известно, что многие пассажиры поездов обычных железных дорог на северо-востоке о. Хонсю пострадали и даже погибли в результате землетрясения и последовавшей волны цунами. В то же время, в

поездах ВСМ, находившихся в момент удара на линиях, никто не погиб, и практически не получил тяжелых травм.

11 марта 2011 г. через 3 с после того, как сейсмические датчики системы оповещения о землетрясениях ВСМ зафиксировали р-волны, сработали аварийные выключатели на тяговых подстанциях всех высокоскоростных магистралей. С контактной сети было снято напряжение, что явилось сигналом для устройств автоведения поездов об аварийной остановке и без участия машиниста было включено экстренное торможение. Ближайшие к эпицентру землетрясения поезда Восточной японской железнодорожной компании двигались в этот момент со скоростью около 270 км/ч.

Сейсмическая р-волна (рис. 17.27) достигла ближайший к эпицентру поезд ВСМ через 13 с после сигнала сейсмодатчика (скорость поезда в этот момент снизилась примерно до 250 км/ч) и никакого воздействия на поезд не оказала. S-волна пришла к поезду через 70 с после сигнала сейсмодатчика, экстренное торможение снизило к этому времени его скорость до 100 км/ч,

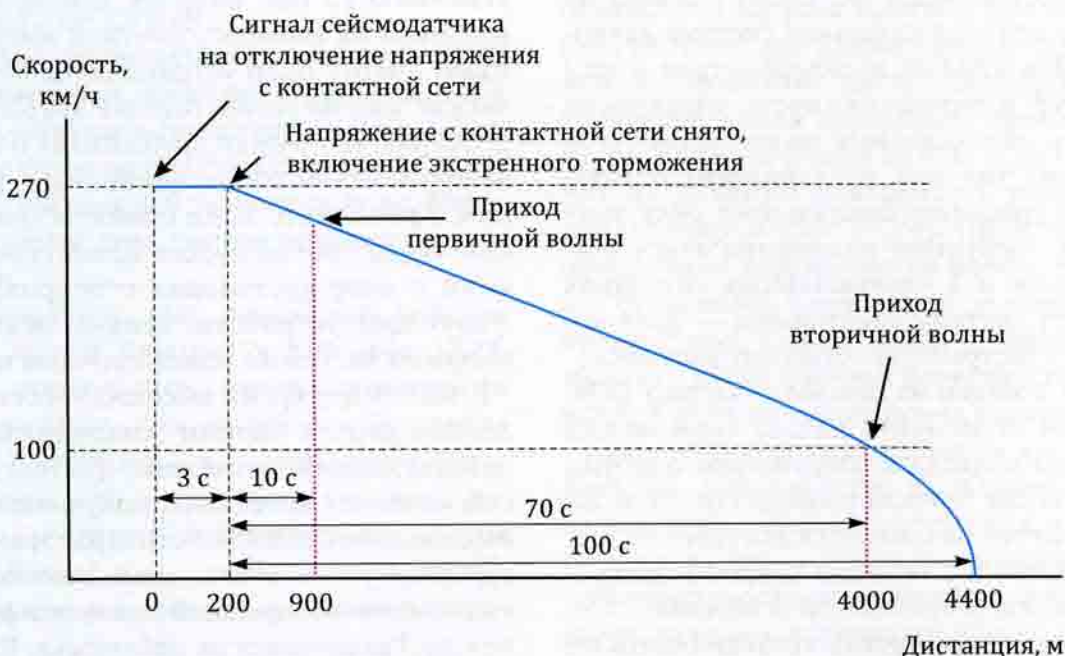


Рис. 17.27. Диаграмма экстренного торможения высокоскоростного поезда «Хайт» № 27. 11 марта 2011 г. Восточная японская железнодорожная компания (данные, содержащиеся на диаграмме, носят приблизительное значение)

разрушения пути не произошло, поезд остался на рельсах и через 400 м (на сотой секунде после сигнала сейсмодатчика) остановился.

Результатом надлежащего качества проектирования и строительства ВСМ Японии стало то, что подавляющее большинство их сооружений и устройств не получили серьезных повреждений во время землетрясения 2011 г. Тем не менее, его последствия для высокоскоростных магистралей были тщательно изучены. С учетом проведенного анализа к настоящему времени в Японии разработаны новые, еще более жесткие нормы проектирования и строительства объектов ВСМ.

Параллельно с ужесточением норм на проектирование и повышением качества строительства в Японии в последние годы были осуществлены мероприятия по оснащению высокоскоростного подвижного состава и путевого комплекса ВСМ различными устройствами, предназначенными для снижения негативных последствий схода вагонов с рельсов в результате сейсмических толчков или других причин.

Одной из важнейших задач в подобной ситуации является удержание подвижного состава в пределах рельсовой колеи, недопущение его выхода на встречный путь или опрокидывания. В настоящее время в Японии получили распространение несколь-

ко конструкций предназначенных для этого устройств. Одной из них предусматривается установка на буксах тележек вагонов стальных предохранительных, ограничительных угольников (рис. 17.28), которые в случае схода колесной пары с рельсов упираются в рельс и не дают возможности колесной паре выйти за пределы шпал (плит).

В некоторых случаях между рельсами устанавливаются хорошо известные в мировой практике контррельсы в виде продольной конструкции из уголкового профиля (рис. 17.29), которые препятствуют выкатыванию колеса на головку рельса.

Сход подвижного состава с рельсов, его выход на встречный путь является опасным возможным последствием сейсмического удара. Японские железнодорожники принимают меры по оснащению подвижного состава и устройств пути, в частности стрелочных переводов, специальными механическими устройствами, предотвращающими сход подвижного состава с рельсов при землетрясениях или уменьшающих повреждения при сходах (рис. 17.30). В случае схода колесной пары с рельсов на стрелочном переводе колеса катятся на гребнях по специально уложенным плитам, а защитные направляющие устройства с продольными уголками препятствуют выходу колесных пар за пределы стрелочного перевода.

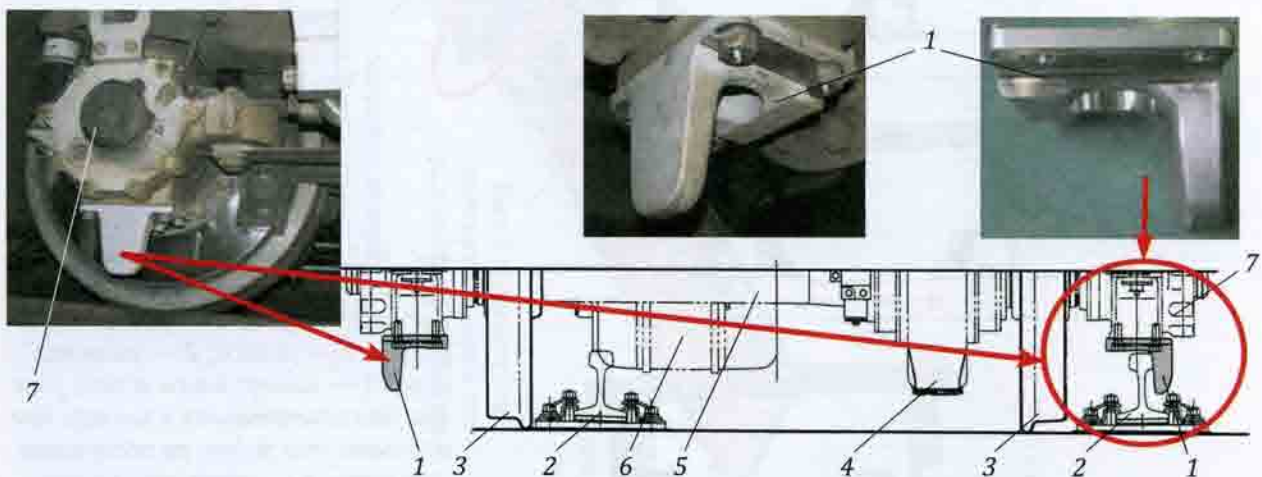


Рис. 17.28. Предохранительные, ограничительные угольники на буксах тележек вагонов высокоскоростных японских поездов: 1 — ограничительный угольник; 2 — рельс; 3 — колесо; 4 — тяговый редуктор на оси колесной пары; 5 — ось колесной пары; 6 — тяговый двигатель; 7 — букса

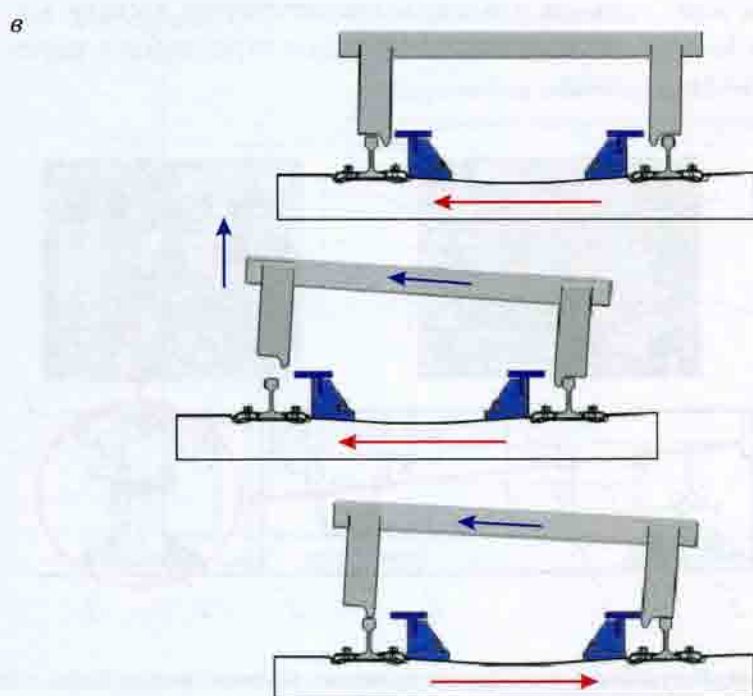
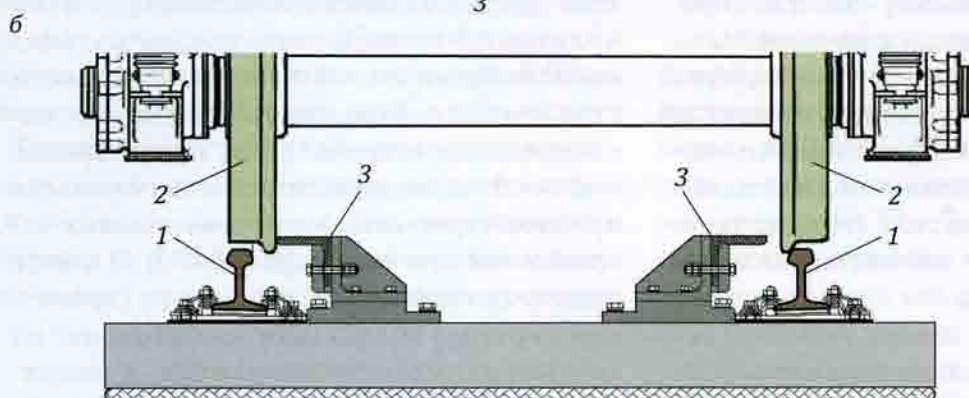
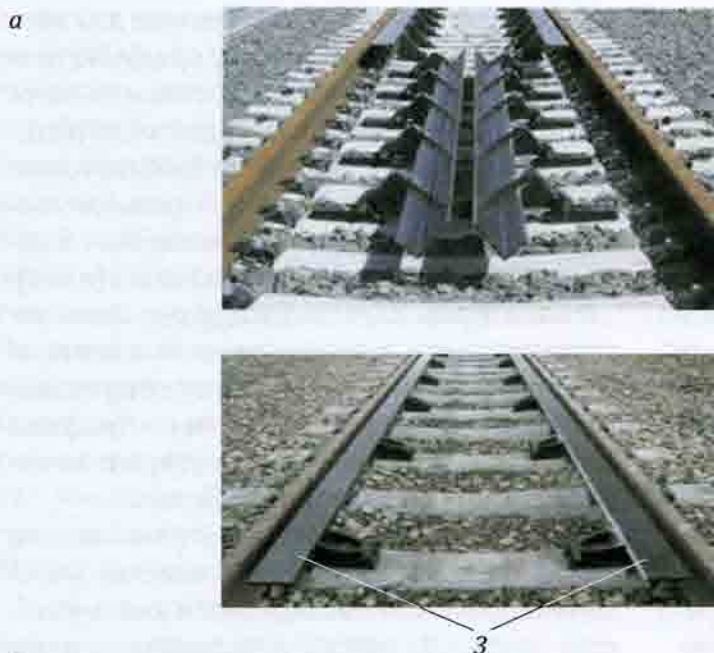


Рис. 17.29. Контррельсы в виде уголков на японских ВСМ: а — общий вид на пути; б — поперечный разрез: 1 — рельсы; 2 — колесная пара; 3 — контррельсы в виде уголков, откидывающиеся к центру при производстве работ по обслуживанию пути; в — схема, поясняющая действие в момент землетрясения. Япония

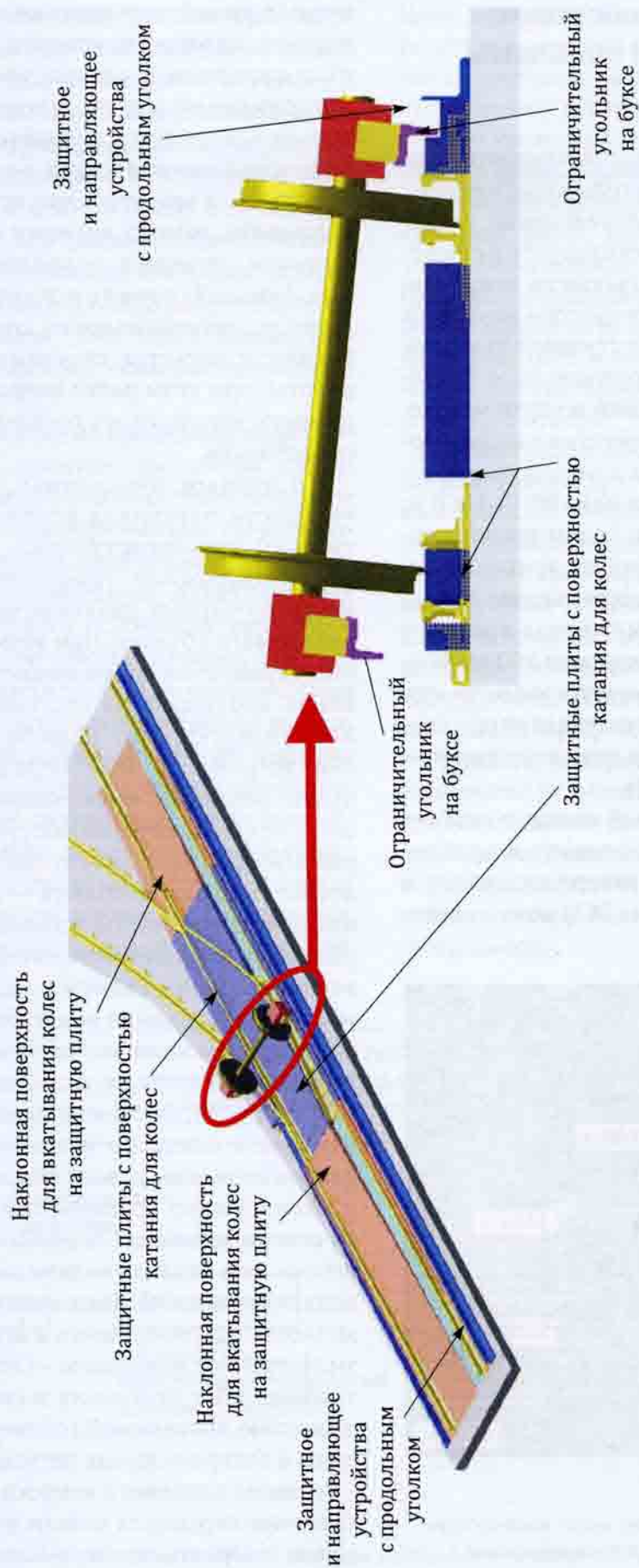


Рис. 17.30. Комплекс технических устройств для предотвращения схода подвижного состава с рельсов на стрелочных переводах. Япония

17.6. Основные требования к персоналу ВСМ и проблемы безопасности

При увеличении скорости движения поездов происходит значительное изменение условий и характера деятельности персонала, непосредственно связанного с движением поездов. Так, при скорости движения поезда 100 км/ч, а эта скорость в начале XX столетия вполне соответствовала высокой, поезд за одну секунду проходит 27 м. К примеру, машинист, увидевший на пути человека или какое-либо препятствие на расстоянии около 1000 м, при длине тормозного пути для тех поездов порядка 800—1000 м, уже и в те годы имел в своем распоряжении не более 2—3 секунд на принятие решения об экстренном торможении. Сегодня при скорости 250 км/ч поезд проходит в секунду 69,5 м, а при скорости 300 км/ч — 83 м. При этом длина тормозного пути при служебном торможении составляет при скорости 300 км/ч — 5800 м, при экстренном — около 4000 м (рис. 17.31).

Отсюда следует важный вывод о необходимости комплексного подхода к проблеме безопасности, о чем говорилось ранее, в частности, устройства на ВСМ только двух-

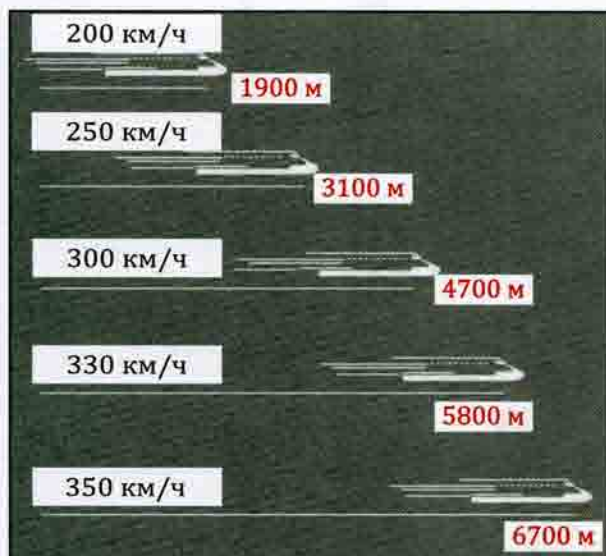


Рис. 17.31. Длина тормозного пути высокоскоростного поезда при служебном торможении

путных линий; исключение пересечений с другими видами транспорта и пешеходными переходами в разных уровнях; полного ограждения полосы отвода ВСМ с постоянным контролем и исключением несанкционированного доступа на нее людей и животных, и при этом, что особенно важно в условиях лимита времени при подобной скорости, передача наиболее ответственных функций, прежде осуществляемых человеком, автоматическим системам. За работником остается программирование их работы, при этом резко возрастает необходимость контроля их состояния и работоспособности.

К основным изменениям условий деятельности персонала вследствие автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте можно отнести, во-первых, удаление человека от управляемого объекта. При этом дистанционное управление не позволяет непосредственно наблюдать за состоянием объекта. Компенсируют этот недостаток технические устройства. Они передают органам чувств работника информацию об управляемом объекте, которая поступает в закодированном виде, а значит перед человеком встает еще одна проблема — декодировать информацию. Второе изменение касается расширения полигона деятельности человека. Перед ним ставятся задачи одновременного управления и контроля состояния все большего количества объектов и их параметров. В-третьих, вследствие увеличения скорости движения повышаются требования к скорости и точности действий работников, что, в свою очередь, приводит к возрастанию степени ответственности за совершаемые действия и принятые решения, тем самым увеличивая нагрузку на психику человека. Возникает нервно-психическая напряженность в его деятельности. Четвертое изменение — это повышение требований к персоналу в связи с необходимостью постоянной готовности к действиям в экстремальных ситуациях.

Решение кадрового вопроса в плане соответствия персонала новым условиям и задачам скоростного и высокоскоростного

движения на железнодорожном транспорте состоит в отборе работников по медицинским и психологическим критериям, а также их специальной профессиональной подготовке. Медицинская комиссия дает заключение о пригодности человека к профессиональной деятельности с точки зрения состояния его здоровья. Кроме отбора по медицинским показателям, для определенных категорий людей, работающих на железнодорожном транспорте, используется профессиональный психологический отбор.

Требованиям многих профессий может соответствовать практически любой здоровый человек, получивший соответствующее профессиональное образование. Но есть определенная группа профессий, где выполнение профессиональных задач требует наличия комплекса особенных свойств — профессионально важных качеств. Эти требования к индивидуальным особенностям диктуются характером и условиями выполняемой деятельности, такими, как дефицит времени, нестандартные, быстро изменяющиеся, опасные ситуации. В таких профессиях цена ошибки за неправильно или несвоевременно принятые решения и действия, несоблюдение технологии и инструкций оказывается чрезвычайно высокой.

Цель профессионального психологического отбора состоит в определении пригодности человека к определенной профессиональной деятельности на основании оценки уровня развития у него профессионально важных качеств.

Составной частью комплекса научно-практических работ, направленных на обеспечение безопасности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте и повышение надежности деятельности персонала, было создание и внедрение автоматизированных систем профессионального психологического отбора.

Для персонала, обслуживающего ВСМ, как ни для какого другого, на железнодорожном транспорте кроме контроля выполнения технологических процессов, необходимо регулярное теоретическое и практическое обучение с целью повышения квалификации и закрепления имеющихся знаний и навыков. Необходима постоянная практика психологического тестирования и оценки уровня профессиональной пригодности каждого конкретного работника на соответствие установленным нормам с целью предотвращения ситуаций, угрожающих безопасности движения. На рис. 17.32 представлены действия персонала, способные создать угрозу безопасности перевозочного процесса.

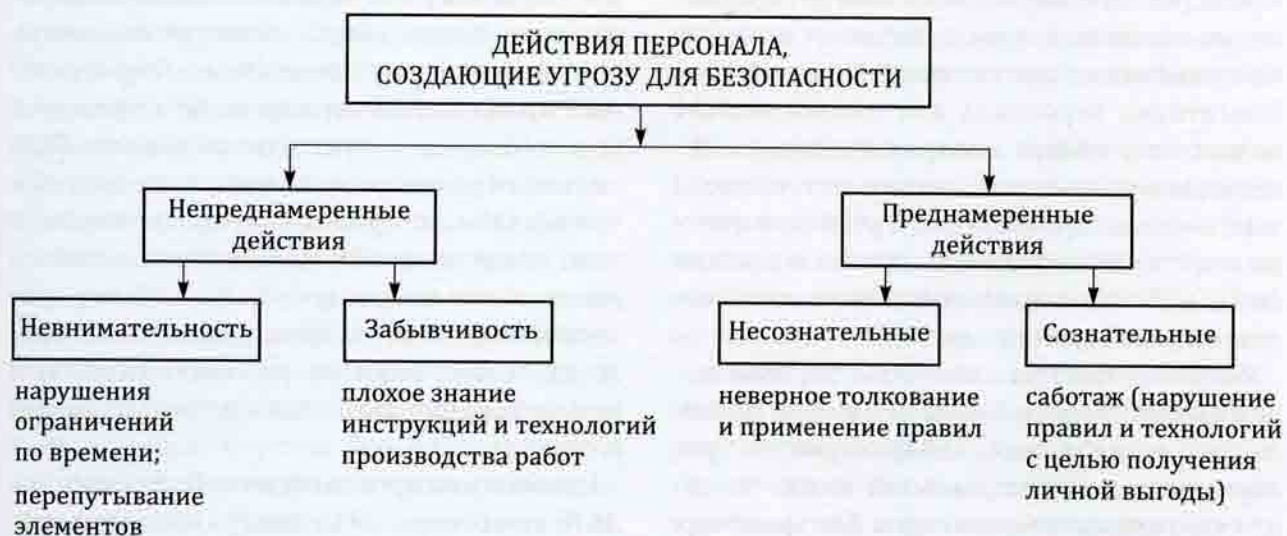


Рис. 17.32. Действия персонала, способные создать угрозу безопасности перевозочного процесса

17.7. Особенности подготовки персонала для работы на высокоскоростных железных дорогах

В наибольшей степени увеличение скорости движения поездов до 300—350 км/ч сказалось на особенностях работы операторов, управляющих движением поездов, — диспетчеров, дежурных по станциям, членов поездных бригад, а также лиц, обслуживающих сложные технические устройства путевого комплекса, электроснабжения, СЦБ и др.

К примеру, на высокоскоростных железных дорогах Японии выделены три главные категории персонала с точки зрения обучения и повышения квалификации: работники, обслуживающие устройства инфраструктуры и подвижной состав, операторы, руководящие перевозочным процессом, и поездные бригады.

Подготовка работников включает, как обязательные для всех категорий компоненты, так и особенные, предназначенные только для данной группы. Обязательными для всех категорий является физическое развитие и спортивная подготовка работника; привитие норм здорового образа жизни, воспитание дисциплинированности и ответственности; изучение приемов эффективного командного поведения; развитие хороших манер поведения во взаимоотношении с коллегами и пассажирами. Подготовка персонала для японских ВСМ ведется в учебных центрах, которые имеют железнодорожные компании, и продолжается на рабочих местах. В учебном центре занятия проводятся в группах в составе до 20—25 человек, сформированных по видам будущей деятельности.

Учебные центры японских железнодорожных компаний, большей частью, располагают аудиториями, лабораториями, тренажерами для специальной подготовки; имеют гимнастические залы для физического развития будущих работников. Как правило, в период подготовки обучающиеся проживают в общежитии учебного цент-

ра, поскольку часть занятий по некоторым дисциплинам проводится в вечернее время в виде бесед, совместного просмотра и обсуждения кинофильмов, психологических тренингов и т.п.

На высокоскоростных железнодорожных магистралях сегодня уже нет многих из тех видов деятельности, которые были непосредственно связаны с перевозочным процессом на железных дорогах и влияли на его безопасность еще в начале XX столетия. Однако в обозримом будущем, даже при возрастающем уровне автоматизации управления перевозочным процессом, трудно представить себе высокоскоростные поезда без поездных бригад. Именно члены поездных бригад — машинисты, кондукторы, проводники в условиях эксплуатации ВСМ в настоящее время остаются одним из важнейших субъектов управления — важных компонентов комплекса мер обеспечения безопасности, способных не допустить возникновения аварийной ситуации или снизить тяжесть ее последствий.

Даже при высокой степени автоматизации управления движением поездов, использовании систем автоведения, автоматического торможения, автостопа, необходим постоянный контроль процесса движения поезда человеком-оператором — машинистом. При всех мерах, принимаемых по недопущению на полосу отчуждения несанкционированного выхода людей, остается опасность постороннего вмешательства в перевозочный процесс. Несмотря на то, что с каждым годом совершенствуется оснащенность ВСМ системами предупреждения о внезапных чрезвычайных природных проявлениях, в том числе стихийных бедствиях, необходим человек-оператор — машинист, кондуктор, проводники, которые являются важными гарантами безопасности пассажиров при возникновении аварийных и чрезвычайных ситуаций.

Необходима организация отбора персонала (о чем говорилось ранее) и его обучение, адекватное задачам перевозочного процесса при высокой скорости движения. В разных странах мира обозначились близкие

подходы к формированию поездной бригады высокоскоростного поезда, главным лицом которой является машинист. На большинстве ВСМ он управляет поездом без помощника (работает «в одно лицо»). Российские нормы и правила пока исключают управление пассажирским скоростным и высокоскоростным поездом без помощника.

На многих зарубежных ВСМ в состав поездной бригады входит главный кондуктор¹, который во время рейса, как правило, находится в неработающей кабине управления хвостового вагона высокоскоростного поезда. В его обязанности входят наблюдение за безопасностью посадки и высадки пассажиров, управление закрытием и открытием автоматических дверей вагонов или подача об этом сигнала машинисту, команды отправления поезда после окончания посадки. Необходимо отметить, что и машинист поезда с помощью зеркал заднего вида или видеокамеры и телевизионного монитора наблюдения (ими оснащены большинство поездов ВСМ) также наблюдает за ходом посадки и высадки пассажиров.

На многих ВСМ в обязанности главного кондуктора во время рейса входит наблюдение из хвостовой кабины за обстановкой на участке удаления поезда. В случае, если он замечает какие-либо отклонения от нормы, немедленно сообщает об этом по внутренней телефонной связи поезда машинисту, а тот передает информацию поездному диспетчеру.

В состав поездных бригад входят проводники, на которых, в основном, возложены функции, связанные с обслуживанием пассажиров, также обеспечением их безопасности. На некоторых ВСМ в поездной бригаде есть кондуктор-ревизор, проверяющий билеты пассажиров, а в некоторых странах и продающий билеты (по более высокому тарифу) пассажирам, не успевшим приобрести их на станции. На некоторых ВСМ

ревизоры не включены в состав поездных бригад и садятся в поезда по своему графику. В любом случае, в должностные обязанности проводников вагонов, кондукторов и ревизоров поездов на ВСМ входят функции не только обслуживания, но и оказания помощи пассажирам, особенно в аварийных и чрезвычайных ситуациях.

В большинстве стран персонал поездных бригад высокоскоростных поездов набирается (часто по конкурсу) из числа работников железных дорог, уже имеющих необходимую базовую подготовку и опыт работы. Часто компании определяют необходимый для этого стаж работы на обычных железных дорогах. Таким образом, большей частью компании, эксплуатирующие высокоскоростные поезда, обеспечивают необходимое дополнительное обучение и повышение квалификации указанных работников, добиваясь уровня подготовки, необходимой для работы в условиях повышенных требований ВСМ.

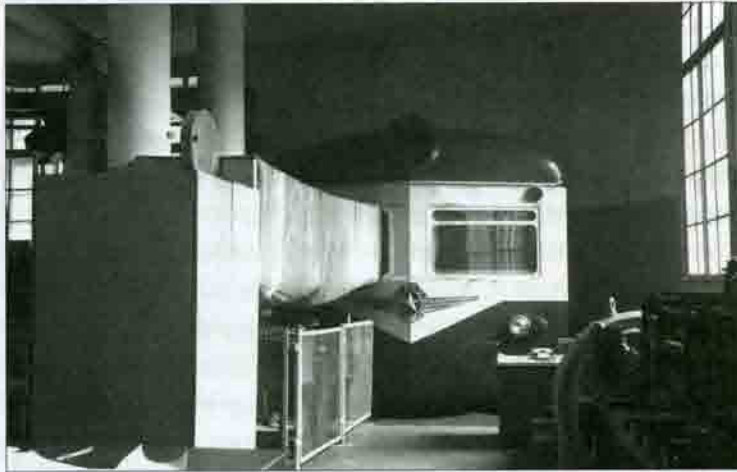
Дополнительное обучение проводится как в специализированных учебных центрах, так и на рабочих местах. Для этих целей создаются различные учебные тренажеры², например, в виде кабины локомотива или электропоезда, пассажирского вагона, элементов железнодорожной станции и т.п., дающие возможность создать обстановку, близкую к реальной в процессе нормальной эксплуатации, или условия, имитирующие широкий спектр чрезвычайных ситуаций.

На железнодорожном транспорте еще в 60—70-е годы прошлого века предпринимались попытки создания тренажеров для машинистов поездов (рис. 17.33). Однако состояние приборно-аппаратной базы и кинопроекционной техники тех лет, отсутствие быстродействующих устройств управления, близких к современным компьютерам, не позволило создать тренажеры, которые могли бы быть использованы при практической подготовке машинистов.

¹ В русской терминологии принято такое наименование этой должности (в других странах именуется по-разному).

² В последнее время называют симулятор — от англ.: simulator, моделирующее или имитирующее устройство.

а



б



Рис. 17.33. Тренажер для обучения машинистов: а — общий вид; б — внутренний вид кабины тренажера; кинопроекционная установка 35 мм проецировала изображение пути на матовый стеклянный экран, которым было заменено лобовое стекло кабины рижского электропоезда, разработан кафедрой электрической тяги ЛИИЖТ (Петербургский государственный университет путей сообщения) в 1970-е годы XX в.

Эксплуатация высокоскоростных магистралей, предъявивших качественно новые требования к деятельности машинистов поездов, особенно в оперативной реакции на различные нештатные ситуации, включая аварийные, потребовала новых подходов к процессу обучения. По соображениям безопасности труднее стала организация практического обучения машинистов в условиях реального перевозочного процесса.

В то же время, к 80—90-м годам XX столетия были достигнуты значительные успехи в создании тренажеров для получения навыков управления транспортными средствами с проекционной аппаратурой нового поколения (с магнитными носителями информации вместо киноплёнки); освоения компьютерного управления, позволяющего имитировать многие сложные процессы взаимодействия человека-оператора со сложной технической системой. По заказу военных ведомств разных стран, большей частью в обстановке секретности, что стало известно позже, сначала были созданы тренажеры для обучения управлением самолетами и вертолетами, космическими аппаратами, танками, военными корабля-

ми. Позже эти технологии стали использовать в гражданских профессиях для обучения пилотов авиалайнеров и судоводителей на морском и речном флоте. Разнообразные тренажеры широко применяются для подготовки машинистов локомотивов и электроподвижного состава. Они подразделяются на несколько видов.

Портативные, перевозимые в нескольких чемоданах-кейсах, они в считанные минуты могут быть развернуты в любом классе, как правило, имеют упрощенные имитаторы пульта управления машиниста, плоский дисплей не очень большого размера, отражающий обстановку на пути перед поездом.

Мобильные тренажеры размещают в автобусах, автоприцепах, вагонах, что позволяет перемещать их из одного пункта в другой, проводя занятия по обучению и повышению квалификации персонала.

Применяют так называемые тренажеры-консоли — стационарные установки с имитацией пульта управления конкретного локомотива, электропоезда, дизель-поезда, имеющие относительно большие экраны для проекции изображения пути. У подоб-

ных тренажеров-консоль отсутствует задняя стенка, поэтому за спиной обучающегося может располагаться учебная группа, что делает установку удобной для проведения коллективных занятий.

Самыми сложными — полномасштабными являются тренажеры, полностью, воспроизводящие интерьер кабины машиниста конкретного высокоскоростного поезда (рис. 17.33, 17.34). На пульте тренажера имитируется работа всех приборов, отражающих необходимые для данной поездной ситуации показания. На пульте действуют устройства управления поездом, которыми манипулирует машинист в реальных условиях: контроллер, рукоятка управления тормозами (кран машиниста), тумблеры и переключатели различного поездного оборудования. С помощью этих устройств обучаемый вводит в компьютер соответствующие команды: «начало движения», «торможение», «закрытие дверей» и др. Экранные проекционные системы или различного типа видеомониторы большого формата (жидкокристаллические, плазменные и т.п.) этих тренажеров позволяют создать перед окном кабины машиниста картину пути с широким углом охвата. В некоторых тренажерах зона проекции захватывает даже боко-

вые окна кабины. Полномасштабные тренажеры обеспечивают эффект присутствия, близкий по информационно-эмоциональному воздействию к картине, наблюдаемой машинистом из кабины реального поезда.

Тренажеры последнего типа, выполненные в виде копии кабины управления локомотива, моторвагонного поезда, позволяют составить учебную программу таким образом, чтобы выработать у машинистов адекватную реакцию на возникающие в пути следования ситуации, связанные как с окружающей средой (в основном — с поездной обстановкой), так и с техническим состоянием локомотива (поезда). Демонстрируемое на экране перед машинистом изображение впереди лежащего пути и показаний сигналов, воспроизводящих то, что обычно видно через лобовое стекло, создает близкую к реальности обстановку со всеми изменениями, характерными для условий ведения поезда по конкретной линии.

В учебном центре Центральной японской железнодорожной компании, эксплуатирующей ВСМ «Токайдо» (Токио — Осака), в большом зале оборудован комплексный тренажер для обучения машинистов, поездных бригад и работников других профессий. Тренажер включает полномасштаб-

а



б



Рис. 17.34. Полномасштабные тренажеры: а — внешний вид тренажера высокоскоростного поезда TGV Duplex. Франция; б — внутренний вид кабины тренажера высокоскоростного поезда серии 500. Япония (на фото слева — рабочее место инструктора)

ные макеты двух вагонов высокоскоростного поезда последнего поколения серии 700, класс для аудиторных занятий группы, участок контактной сети длиной несколько десятков метров с полным оснащением, действующий макет участка железной дороги Синкансэн, демонстрирующий многие элементы инфраструктуры ВСМ (рис. 17.35).

В разработках конструкций тренажеров машиниста последних лет включен пульт управления, такой же, как в реальной кабине поезда, предусмотрен ввод показаний измерительных приборов и сигнальных устройств, соответствующих всем имеющимся на практике состояниям узлов и агрегатов подвижного состава, которые эти приборы и индикаторы отражают, в том числе и в аварийных ситуациях. Для того чтобы машинист мог принять адекватные меры по устранению возникших неисправностей, тренажер оснащен всеми переключателями и иными техническими средствами, которыми машинист должен пользоваться в подобных случаях на реальном подвижном составе.

Важным фактором приближения обстановки на тренажере к действительности является создание реалистичного звуково-

го фона. Для этого на тренажеры устанавливаются технические средства воспроизведения различных звуков, шумов, которые машинист обычно слышит, находясь в кабине управления при ведении поезда. Звуковой фон записывается в соответствующих условиях эксплуатации данного вида подвижного состава или воспроизводится акустическими синтезаторами по специальным программам.

В последние годы благодаря прогрессу в области компьютерной графики существенно улучшилось изображение на экране, по сравнению с тем, что отображали экраны лучших тренажеров в начале 90-х годов прошлого века. Для создания картины пути используется передовая техника создания изображения на основе высококачественных фотографий, снятых с натуры на конкретных участках трассы ВСМ. Тренажеры имеют подпрограммы, позволяющие моделировать по команде инструктора картину пути при различных метеорологических условиях: туман, дождь, снегопад. При имитации дождя или снегопада машинист может включать «стеклоочистители», чтобы «удалять с поверхности» лобового стекла «капли воды» и «снег». Не менее важным является воспроизведение

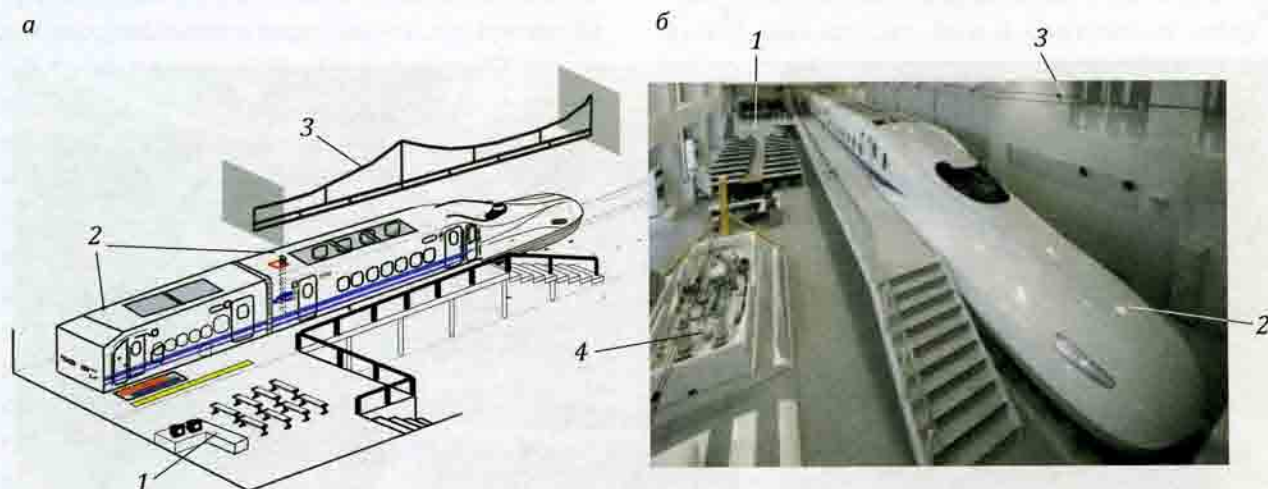


Рис. 17.35. Комплексный тренажер для подготовки персонала ВСМ Центральной японской железнодорожной компании: а — схема расположения устройств и оборудования; б — общий вид тренажера; 1 — класс для теоретического обучения; 2 — полномасштабные макеты вагонов поезда серии 700; 3 — полномасштабный макет участка контактной сети; 4 — макет участка Синкансэн

продольного профиля пути, так как кривизна подъемов и спусков имеет большое значение при моделировании изменений скорости движения поезда в соответствии с действиями машиниста.

Лучшие тренажеры оснащены так называемой «системой подвижности» (иногда называемой «модулем динамики»). Система предназначена для имитации важной информации, которую машинист в реальных условиях получает через тактильные ощущения, положение тела в пространстве, работу вестибулярного аппарата. Речь идет об ощущениях, связанных с ускорением и замедлением поезда, центробежным ускорением при движении по криволинейным участкам, толчках при проходе стрелочных переводов, резком броске в сторону локомотива или вагона от аэродинамического удара при встрече двух поездов, движущихся с высокой скоростью на перегоне. При этом тело машиниста прижимается к спинке кресла или, наоборот, он чувствует, что его тянет вперед, на пульт управления; прижимает или даже бросает к боковой ручке кресла. Все эти ощущения очень важны для оценки машинистом реальной ситуации ускорения или замедления поезда, он руководствуется ими, возможно на подсознательном уровне, применяя торможение, регулируя его силу.

При постановке задачи максимально приблизить возможности тренажера к передаче комплексной картины поездки, включая визуальный ряд и ускорения, действующие на тело машиниста, необходимо введение системы программируемой подвижности учебной кабины, обеспечивающей воздействие на машиниста ускорений в трех плоскостях, адекватных данному моменту виртуальной поездки. При этом очень важным является синхронность изменения и соответствие виртуального пейзажа за окном поезда и ускорений (продольных, поперечных, вертикальных), которые испытывает в данный момент машинист. Расхождение, несинхронность информации, получаемой человеком по зрительным каналам, в тактильных ощущениях и от вестибулярного

аппарата (отличие величин испытываемых человеком нагрузок от того, что он может ожидать, воспринимая ситуацию поездки на экране тренажера), опознается мозгом человека как некая ошибка, ненормальная ситуация, что часто приводит к появлению симптомов морской болезни, быстрому утомлению обучаемого.

Чаще всего эта система представляет собой платформу, вывешенную на штоках гидравлических или пневматических цилиндров или на винтовых приводах, на которой укреплен кабина тренажера. На рис. 17.36 представлен тренажер машиниста поезда «Сапсан» опорного типа с шестью степенями подвижности (6-DOF) и шестью исполнительными элементами, имеющий электрическую винтовую передачу, три цилиндра пневматической амортизации нагрузки, подвижной платформы и блок управления. Положение поршней, штоков, винтовых приводов и, соответственно, платформы, быстрота ее перемещения (наклоны, повороты) определяется давлением масла или воздуха в цилиндры, установкой в требуемое положение винтовых приводов. Таким образом, модуль динамики воспроизводит (конечно, в заданных ограниченных пределах) перемещения и вибрацию кабины управления, которые ощущает машинист при ведении реального поезда.

Систему имитации движения иногда рассматривают как излишнюю (часто из-за ее высокой стоимости). Тем не менее, она очень полезна, так как повышает степень достоверности моделирования процесса ведения поезда и уменьшает время, затрачиваемое на вхождение машиниста в требуемый режим работы. Естественно, интегрировать систему подвижности в тренажер целесообразно только в том случае, когда остальное оборудование тренажера также находится на высоком уровне приближения к действительности. Важно не допускать малейшие колебания, нерезкость изображения на экране, для чего необходимо решить сложную задачу взаимной увязки конструкции динамического

a



б

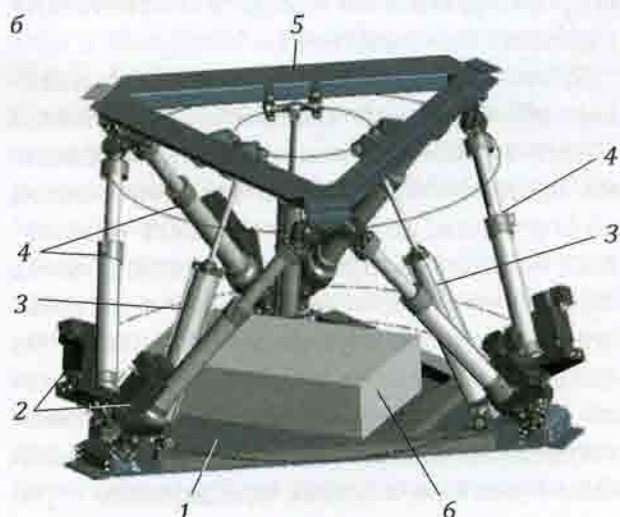


Рис. 17.36. Тренажер машиниста высокоскоростного поезда «Сапсан»: а — общий вид; б — основные элементы системы имитации движения на тренажере: 1 — опорная рама; 2 — бесщеточные сервомоторы; 3 — пневматические цилиндры; 4 — винтовые приводные механизмы; 5 — подвижная рама; 6 — блок управления

модуля и проекционной аппаратуры тренажера. При несоблюдении указанных требований, что в ряде случаев происходит на практике, уже через несколько минут у обучаемого могут проявляться нежелательные неприятные ощущения и вырабатывается отрицательное отношение к обучению на тренажерах.

Тренажеры играют основную роль в подготовке машинистов на железных дорогах Германии, Франции, Испании, Италии поскольку практически повсеместно применяемая езда в одно лицо исключает предварительную ступень обучения машиниста при работе в качестве помощника. Основным элементом подготовки является тренажер классического типа, который представляет собой копию кабины локомотива или электропоезда с системой имитации режима движения на конкретном участке с учетом профиля и графика движения.

Подготовка на таких тренажерах достаточно хорошо налажена и широко используется как при начальном обучении, так и при повышении квалификации. На этих тренажерах проводят периодические контрольные проверки машинистов, и в тех случаях, когда машинист допускает нарушения при ведении поезда. При этом инструктор тщательно наблюдает за действиями машиниста и легко обнаруживает возможные ошибки или нарушения, что существенно облегчает процесс обучения и повышения квалификации.

В Японии, где поезда на ВСМ также управляются машинистом без помощника, в систему обучения на тренажерах включены кроме машинистов главные кондукторы. В процессе обучения им помогают инструкторы-машинисты, инструкторы-кондукторы и инструкторы-диспетчеры, которые выполняют функции участников процесса уп-

равления движением на ВСМ, вступая в необходимые переговоры с обучаемым машинистом и главным кондуктором.

При этом обучение на тренажерах проходит в несколько этапов. Первоначально будущий машинист высокоскоростного поезда, уже имеющий права на управление поездом обычной железной дороги и определенный стаж работы в этой профессии, обучается на тренажере под руководством инструктора-машиниста индивидуально. После прохождения первоначального цикла обучения будущий машинист переходит к следующему этапу, на котором во время «поездок» на тренажере разыгрываются различные ситуации: с участием инструктора-диспетчера обучаемый ведет переговоры, «машинист» сообщает «диспетчеру» о возникших нештатных ситуациях (они задаются инструктором-машинистом), получает от «диспетчера» различные приказы и вводные условия. Особо обращается внимание на «проигрывание» поездных ситуаций, которые отнесены к типичным, — опоздание поезда, массовый сбой расписания, технические неисправности поезда, чрезвычайные происшествия (аварии, стихийные бедствия и т.п.).

Первичное обучение главных кондукторов (к их подготовке также привлекаются кондукторы, имеющие соответствующую квалификацию и стаж работы на обычных железных дорогах) осуществляется в начале индивидуально на тренажере, имитирующем кабину хвостового вагона поезда, под руководством инструктора-кондуктора, работающего синхронно с обучаемым по единой программе.

Затем, на втором этапе обучения главных кондукторов и третьем этапе обучения машинистов, ведется их совместная подготовка на двух тренажерах, включенных в единую систему управления и работающих синхронно по единой программе. Один тренажер имитирует головную кабину поезда, а второй — хвостовую. В подготовке участвуют также три инструктора: машинист, диспетчер и кондуктор. Обучаемые — машинист и главный кондуктор совершают на

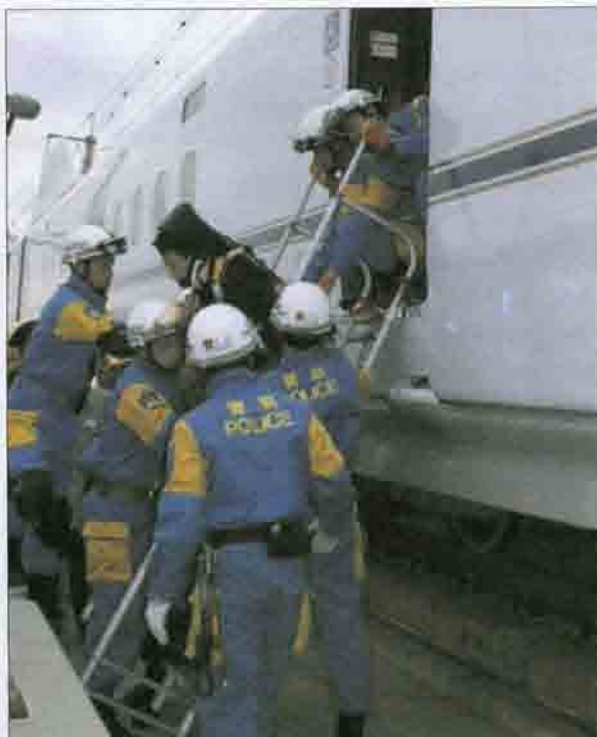
тренажерах совместные «поездки» на «одном поезде» по усложняющейся раз от раза программе, осваивая совместную работу в простейших ситуациях взаимодействия при отправлении поезда по расписанию, а затем переходят ко все более сложным, связанным с опозданием поезда, аварийными ситуациями, экстренной высадкой пассажиров из поезда, действиях при землетрясениях, пожарах и т.п.

Японские и другие компании, эксплуатирующие ВСМ, в целях обеспечения безопасности движения приняли следующее важное правило: каждый машинист и главный кондуктор вовлечен в систему постоянного мониторинга состояния путевых и других устройств. Машинисты, главные кондукторы, а через них и проводники вагонов немедленно сообщают на центральный пост управления о замеченных ненормальных явлениях в ходе поездки: возникшей вибрации, шуме, ударах, толчках вагонов и т.п. В процессе обучения на тренажере все эти явления также можно имитировать в помощь системе подвижности.

Особое место в подготовке поездных бригад занимает обучение работе в аварийных ситуациях, в условиях ликвидации последствий чрезвычайных происшествий и катастроф. В японских железнодорожных компаниях такое обучение проводится на специальных полигонах и тренажерах, а также на реальных объектах в период перерыва движения поездов в ночное время. Отрабатываются до автоматизма действия персонала в условиях имитации пожаров, землетрясений; организации эвакуации пассажиров из поездов, остановившихся в тоннелях или на мостах; обыгрываются различные ситуации, например, пересадка пассажиров из аварийного поезда, остановившегося на перегоне, в спасательный поезд, стоящий на соседнем пути.

Подобные тренировки проводят также в виде крупномасштабных учений с большим контингентом добровольцев, выполняющих роль пассажиров, с участием полицейских, медицинских работников службы скорой помощи, пожарных (рис. 17.37).

а



б



Рис. 17.37. Учения по ликвидации чрезвычайного происшествия на линии Синкансэн: а — эвакуация пассажиров из аварийного поезда; б — пересадка пассажиров из аварийного в спасательный поезд с помощью переходных мостков

17.8. Опыт подготовки локомотивных бригад для обслуживания скоростных поездов в России

По действующим в Российской Федерации нормам локомотивная бригада скоростного электропоезда должна иметь опыт поездной работы не менее двух лет. При этом квалификация машиниста должна быть не менее второго класса, а помощник машиниста должен иметь права управления. Кроме того, члены локомотивной бригады должны владеть знаниями устройства и эксплуатации соответствующего типа скоростных поездов. Локомотивные бригады скоростного движения в отличие от бригад, работающих в грузовом или пассажирском движении, один раз в полгода проходят техническое обучение с отрывом от производства объемом 40 часов. Примерный план обучения и порядок утвержде-

ния учебных программ содержится в «Инструкции по организации работы машиниста-инструктора скоростного движения, проведения технического обучения и инструктажей локомотивных бригад скоростного движения», утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» № 618р от 29.03.2010 г. Инструкцией определено проведение занятий в специальном учебном Центре, причем программа предусматривает практические занятия по особенностям конструкции и устройства скоростных электропоездов с отработкой навыков вождения на тренажере не менее 8 часов.

30 августа 2010 г. Президент ОАО «РЖД» В.И. Якунин подписал приказ № 145 «О создании Центра подготовки персонала по обслуживанию высокоскоростных поездов — образовательного структурного подразделения Дирекции скоростного сообщения — филиала ОАО «РЖД»». Таким образом, впервые в практике российских железных дорог

нормативно задано обязательное использование тренажеров при техническом обучении локомотивных бригад.

В настоящее время в Центре подготовки персонала по обслуживанию высокоскоростных поездов (УЦ ДОСС), созданного в Санкт-Петербурге, установлен тренажер электропоезда «Сапсан», описанный ранее (рис. 17.38). Высокое качество изображения пути, проецируемого на сферический экран, позволяет машинисту ориентироваться и определять местонахождение на смоделированном перегоне. Через громкоговорители аудиооборудования воспроизводятся звуки, возникающие в процессе поездки. Имитация прохождения элементов стрелочных переводов, кривых участков пути, разгон и торможение происходят с характерными продольными и поперечными динамическими реакциями в зависимости от заданных геометрических параметров участка и географической координаты, где в данный момент времени находится поезд, а также в зависимости от фактической скорости движения подвижного состава.

Система имитации движения моделирует следующие эффекты:

- продолжительный разгон по прямой и кривой;
- толчок при трогании поезда с места и в начале торможения, плавный разгон, торможение;

— торможение до полной остановки, включая полное служебное и экстренное торможение;

— толчок при прохождении элементов стрелочного перевода;

— происхождение уклона пути и возвышения наружного рельса на кривом участке пути.

17.9. Противодействие террористическим акциям на ВСМ

В настоящее время вопросы антитеррористической защиты объектов железнодорожного транспорта приобретают особую значимость — достаточно вспомнить о подрыве скоростного поезда «Невский экспресс» на трассе Москва — Санкт-Петербург, произошедшем 27 ноября 2009 г.

Основными факторами, которые необходимо учитывать при построении систем антитеррористической защиты ВСМ, являются, во-первых, высокая чувствительность объекта к внешним воздействиям, что приводит даже при незначительном вмешательстве в перевозочный процесс к возникновению существенного риска; во-вторых, необходимость защиты специальных объектов инфраструктуры ВСМ, повреждение которых может привести к потере управления движением.

а



б



Рис. 17.38. Тренажер скоростного поезда «Сапсан»: а — рабочее место обучаемого; б — рабочее место инструктора

Таблица 17.7

Силы, средства и органы управления комплексными системами защиты ВСМ

Силы	Средства	Органы управления
Работники ведомственной охраны железнодорожного транспорта. Работники частных охранных предприятий. Сотрудники органов обеспечения правопорядка на транспорте	Охранное телевидение (телевизионные и тепловизионные камеры) Охранная сигнализация. Средства контроля доступа. Средства оповещения и оперативной связи. Средства защиты информации	Опорные пункты охраны (на перегонах, переездах, мостах и т.п.). Линейные ситуационные центры (на участках ВСМ). Центральный ситуационный центр

Построение комплексных систем защиты ВСМ от актов незаконного вмешательства должно обеспечивать достижение следующих целей:

- постоянный (в режиме реального времени) мониторинг обстановки на объектах и участках ВСМ;
- превентивное обнаружение и пресечение попыток несанкционированного доступа в контролируемые зоны;
- своевременная передача необходимой информации в соответствующие службы для оперативного принятия решений;
- информирование органов обеспечения правопорядка на транспорте для принятия мер по отношению к нарушителям.

В табл. 17.7 представлены силы, средства и органы управления комплексными системами защиты.

В функции опорного пункта охраны входят оперативный контроль обстановки на выделенном участке ВСМ, патрулирование участков, прием и передача сигналов тревоги от установленных технических средств охраны и реагирование на эти сигналы.

Для контроля подходов к железнодорожному полотну устанавливаются (с шагом в несколько десятков метров) однопозиционные радиоволновые извещатели периметрической охранной сигнализации. Видеонаблюдение полосы отвода ВСМ осуществляется с применением стационарных тепловизионных камер с инфракрасной подсветкой, располагаемых на опорах контактной

сети с шагом до нескольких сотен метров. Для более детального контроля обстановки каждый участок протяженностью около километра оснащается поворотной видеокамерой, которая позволяет сопровождать объект после срабатывания извещателя движения или стационарной камеры. Кроме того, участки ВСМ оснащаются тепловизорами (термографическими видеокамерами — видеокамерами инфракрасного диапазона).

Информация с участков ВСМ передается в ситуационные центры (центры мониторинга), оборудованные средствами сбора, хранения и отображения данных, а также средствами, реализующими технологии прогнозирования развития ситуации.

В ОАО «РЖД» реализуется проект (2013 г.) по созданию *ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями*, в состав которого входят четыре функциональных блока: безопасность движения, транспортная безопасность, пожарная безопасность; прогнозирование и контроль метеорологических условий. Каждое из этих направлений имеет свой специфический набор целей, функций и задач. Функционирование центра предполагается осуществлять в двух режимах — штатном (постоянном) и нештатном (в условиях ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций). Подобные центры существуют на железных дорогах Германии, Франции и Италии.

Глава 18

Организация движения поездов на ВСМ

18.1. Общие требования к организации движения поездов на ВСМ и принципы их реализации

Опыт стран, построивших и эксплуатирующих высокоскоростные магистрали, показывает необходимость существенного повышения требований ко всему комплексу работ по организации движения поездов. При этом необходимо:

- безусловное обеспечение безопасности движения высокоскоростных поездов и производственного персонала на железнодорожных путях и вблизи них;

- соблюдение графика движения поездов на всем маршруте следования, а при вынужденном отклонении от него — скорейшее возвращение к нормативному режиму следования;

- поддержание на должном техническом уровне основных параметров стационарных устройств и подвижного состава ВСМ в течение всего периода эксплуатации;

- обеспечение высокой производительности труда персонала ВСМ на основе устойчивого роста пассажиропотоков и использования новейших средств контроля параметров технических устройств и современных технологий управления интенсивно работающими транспортными системами;

- осуществление подготовки кадров высокой квалификации, особенно специалистов, управляющих движением высокоскоростных поездов (диспетчеров, машинистов и др.).

Рассмотрим, каким образом реализуются перечисленные требования.

Высокий уровень безопасности движения поездов обеспечивается применением комплекса современных технических средств, рациональной организацией труда и наличием высококвалифицированных кадров на всех этапах и участках строительства и эксплуатации ВСМ. Высокие скорости и значительные размеры движения привели к необходимости разработки и внедрения автоматизированной системы управления движением поездов, которая, помимо собственно диспетчерских функций, выполняет еще и другие: планирование конкретных программ-графиков движения на каждые сутки с учетом складывающейся поездной обстановки; передачу на вокзалы и соответствующие участки магистрали информации для пассажиров об опозданиях поездов; маневрирование поездов, составляющих парк, а также выполнение общего статистического отчета о работе на основе исполненного графика движения поездов. Текущее диспетчерское управление движением сводится к контролю автоматической установки маршрутов, выдаче откорректированного графика движения при отклонениях следования поездов от нормы.

Так, на японских ВСМ, при опоздании поездов автоматизированная система управления движением предлагает диспетчеру на рассмотрение варианты корректировки графика, перемену путей отправления и прибытия на станциях. Рекомендации представляются диспетчеру на экране дисплея в виде поездных диаграмм, после чего система ожидает его решения. Содержание ответных корректирующих команд, вводимых диспетчером в систему управления, автоматически помещается на дисплеи (табло) дежурных по станциям, депо и в других пунктах, связанных с обеспечением перевозочного процесса. По поездной радиосвязи эти команды получают машинисты и бригадиры (начальники) поездов. В такой системе поездной диспетчер освобожден от операций установки маршрутов на станциях и больше времени уделяет контролю по табло визуальной индикации поездного положения, а также вводу команд для реализации более высокого уровня управления.

Особенно велика роль и ответственность поездного диспетчера в период технологических «окон», когда на перегоны ВСМ одновременно выходят десятки путевых и ремонтных машин, поезда с персоналом, оборудованием, материалами для ремонта различных устройств. Работа диспетчера осложняется в значительной мере тем, что все передвижения подвижных единиц осуществляются по его указаниям, передаваемым по радиосвязи, так как автоматизированная система управления на время «окна» отключается. До начала работ в «окно» составляется план их производства для каждого перегона и раздельного пункта; устанавливается порядок выхода путевых, ремонтных машин и дрезин со своих баз и возвращения их на пути отстоя до начала движения высокоскоростных пассажирских поездов. О том, насколько напряженной является работа поездного диспетчера в период «окна», свидетельствует тот факт, что на дежурство назначаются самые опытные специалисты.

Соблюдение графика движения поезда на всем маршруте его следования является

важным требованием успешного функционирования ВСМ. Прибытие пассажира в пункт назначения по расписанию — один из главных показателей уровня комфортабельности поездки и конкурентоспособности высокоскоростных магистралей с авиацией. Администрации некоторых зарубежных ВСМ берут на себя обязательство — в случае прибытия поезда с опозданием возвращать пассажирам часть стоимости проезда. Одна из россиянок, часто посещавшая Японию, отмечает, что она не видела очередей в этой стране, но как исключительный описывает такой случай: «Однажды я с удивлением наблюдала, как пассажиры супер-экспресса, прибывшего в Осаку, едва ступив на платформу, стремглав бросились в очередь, которая образовалась у окна кассы перед выходом с перрона. Оказалось, что поезд немного опоздал, и им надлежало вместе с извинениями получить назад доплату за скорость»¹. Отметим при этом, что для высокоскоростных поездов Синкансэн среднегодовое время опоздания одного поезда по станциям Токио и Осака с учетом задержек, вызванных плохими погодными условиями и землетрясениями, составляет не более 20 секунд.

Подобные возвраты всей или части платы за проезд имеют место и на некоторых западноевропейских ВСМ. Так, в Испании на ВСМ Мадрид — Севилья при опоздании поезда более чем на 5 мин пассажиру возвращают 100 % стоимости билета. В первые 5 лет эксплуатации в число опоздавших попало 0,28 % поездов, пассажирам за год в среднем выплачивалось около 44 млн песет, что составило примерно половину оборотных средств высокоскоростной линии. Несмотря на это руководство испанской ВСМ по-прежнему аккуратно выполняет свои обязательства, объявленные еще до открытия движения высокоскоростных поездов, считая это самым действенным средством борьбы за соблюдение расписания и привлечение пассажиров.

На рис 18.1 приведены графики движения поездов по японской ВСМ «Токайдо Син-

¹ Громковская Л.Л. Сто взглядов на Японию. — М., 1991. — С. 113.

кансэн» в 1964 и 2007 г., на котором видно, насколько увеличились объемы движения поездов. В настоящее время каждый час из Токио и Осаки и обратно отправляется в часы пик до 15 поездов. При таком движении непредусмотренное снижение скорости даже одним поездом часто приводит к задержкам других поездов.

На рис. 18.2 приведен фрагмент исполненного графика движения в один из дней с 9 ч 40 мин до 14 ч 10 мин на участке Токио — Нагоя на линии «Токайдо Синкансэн». Поезд А на перегоне Хамамацу — Сидзуока из-за неисправности вынужден был двигаться с пониженной скоростью. Следовавшим за ним с малыми интервалами семи поездам пришлось также уменьшить скорость, в результате восемь экспрессов прибыли на конечную станцию Токио с опозданием. На том же графике можно заметить, что в период с 12 ч 30 мин до 14 ч 10 мин скорость следования других поездов на последнем перегоне была гораздо ниже, чем на других перегонах. Причина состояла в том, что при перестановке прибывших составов в депо и подаче отправляемых из депо на станцию использовались главные пути (ходовые пути между депо и станцией в

то время не были построены), поэтому из-за пересечения маршрутов приходилось задерживать прием поездов. Для увеличения пропускной способности короткого (около 5 км) участка от перронных путей станции Токио до примыкания депо осуществлено строительство в 2003—2004 гг. вспомогательной зонной пассажирской станции Синагава, на которой за 1 ч оборачиваются не менее четырех пар поездов, следующих по линии «Токайдо Синкансэн». Новая станция размещена в 7 км от станции Токио-Центральный перед путепроводной развязкой главных и соединительных путей, позволила разгрузить последние 5 км главных путей перед перронными путями основной станции.

На рис. 18.3 изображен фрагмент графика движения поездов TGV между станциями Монпарнас-Париж и Тур-Монлуи. Поезд, следующий по расписанию с максимальной скоростью 300 км/ч, преодолевает расстояние между ними за 53 мин. В случае аварийного снижения скорости до 200 км/ч время в пути составит уже около 80 мин, и это приведет к сбою графика движения 7 высокоскоростных поездов.

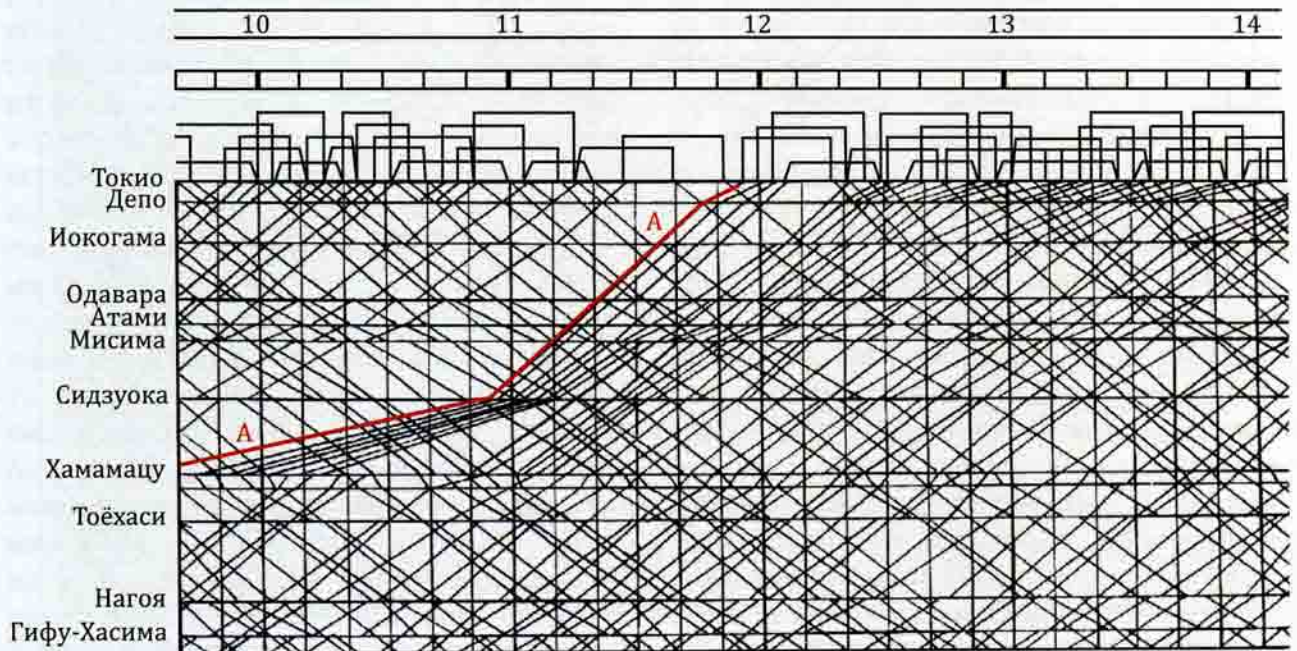


Рис. 18.2. Фрагмент исполненного графика движения поездов на участке ВСМ «Токайдо Синкансэн» Токио — Гифу-Хасима. Япония

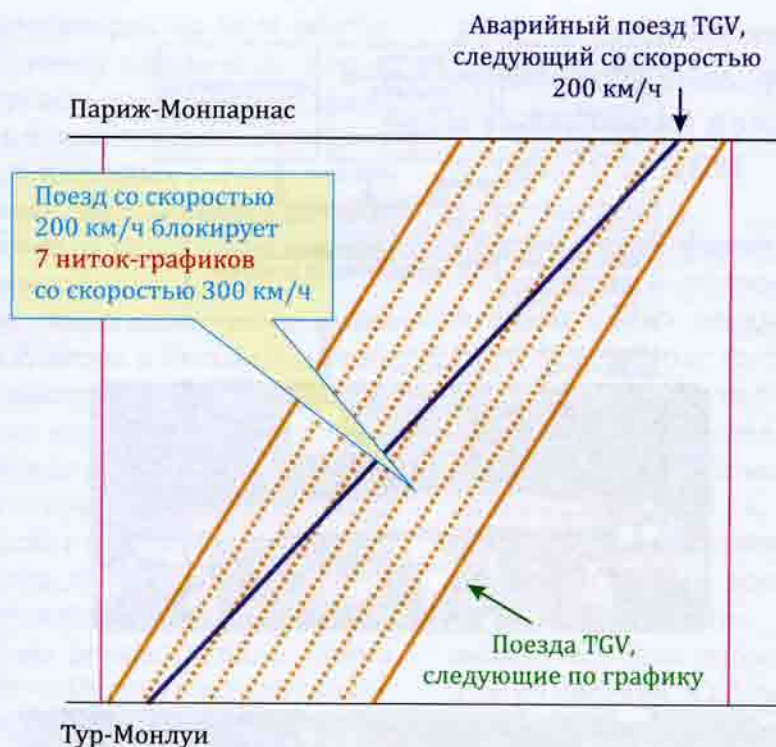


Рис. 18.3. Фрагмент графика движения высокоскоростных поездов между станциями Париж-Монпарнас и Тур-Монлуи. Франция

Приведенные примеры показывают, какое значение имеет строгое соблюдение графика движения поездов при организации высокоскоростного движения. Для того чтобы достигнуть максимального его выполнения, а в случаях отклонения — быстрого ввода опаздывающих поездов в расписание, на высокоскоростных линиях применяются следующие организационно-технические мероприятия:

- в нормативных графиках движения предусматривается резерв не менее 7 % от чистого времени следования;

- для двустороннего движения оборудуются оба главных пути, что позволяет в некоторых случаях вводить на части линии движение поездов по обоим путям в одном направлении (Франция, Германия, Италия);

- на некоторых пассажирских станциях предусматриваются дополнительные приемо-отправочные пути для быстрой и удобной пересадки пассажиров через островную платформу (Япония) или боковую (Франция) из неисправного поезда в исправный (ре-

зервный или следующий по расписанию)¹ (с этой целью иногда сооружаются специальные отдельные пункты с приемо-отправочными путями, например, на французских ВСМ расстояние между такими пунктами составляет от 43 до 70 км);

- устраиваются диспетчерские посты с двумя съездами для перевода движения с одного главного пути на другой (на французских высокоскоростных линиях такие посты размещают между отдельными пунктами с путевым развитием);

- применяются системы технического обслуживания и ремонта стационарных устройств и подвижного состава ВСМ, при которых осуществляется постоянный контроль состояния технических средств специалистами фирм-производителей, что обеспечивает высокое качество обслуживания и позволяет промышленным компаниям

¹ Например, на японских восточных ВСМ «Тохоку» и «Дзёэцу» число дополнительных путей, приходящих на 100 км линии, по сравнению с ранее построенной магистралью Токио — Осака — Хаката возросло, соответственно, в 2,3 и 3,5 раза, несмотря на то, что размеры движения на восточных ВСМ значительно меньше.

а



б



Рис. 18.4. Увеличенная структурная схема автоматизированного программно-технического комплекса управления движением поездов и Центр управления на линии Санкт-Петербург — Москва (а); Центр диспетчерского управления движением поездов на линии Санкт-Петербург — Москва (б)

вести постоянное наблюдение за состоянием своих изделий в процессе эксплуатации, что позволяет повышать потребительские свойства продукции.

Высокая производительность труда на ВСМ, как уже отмечалось, в значительной мере обеспечивается большими и устойчивыми пассажиропотоками. Увеличению количества людей, пользующихся услугами высокоскоростных железных дорог в условиях конкуренции с другими видами транспорта, способствует расширение зоны тяготения населения к поездам ВСМ. Этому спо-

собствует устройство выходов экспрессов на обычные линии; организация пересадочных станций на трассе ВСМ и четкое согласование времени прибытия на них высокоскоростных экспрессов и пассажирских поездов обычной железнодорожной сети; открытие дополнительных остановочных пунктов ВСМ в пригородных зонах крупных городов на расстоянии до 100—140 км от них; ведение гибкой системой тарифов с рядом льгот, например, в часы меньшей нагрузки магистрали в будние дни, продаже семейных и абонементных билетов

и т.д. Приток пассажиров на ВСМ обеспечивает широкий набор дополнительных услуг и высокий уровень обслуживания как на вокзалах, так и в поездах, повышенное внимание персонала железных дорог к пенсионерам, инвалидам, пассажирам с детьми; организацию проезда детей «под ответственность компании»¹.

Единственным полигоном скоростного движения в СССР, затем в России длительное время оставалась линия Санкт-Петербург — Москва, на которой 1 марта 1984 г. началась регулярная перевозка пассажиров скоростным электропоездом ЭР 200. Поезд совершал один рейс в неделю из Ленинграда в Москву и обратно, проходя весь путь за 4 ч 39 мин с маршрутной скоростью 178 км/ч.

Мероприятия по реконструкции линии Санкт-Петербург — Москва с различной интенсивностью продолжались около трех десятилетий. В 2009 г., исходя из плана ввода в эксплуатацию нового электропоезда «Сапсан», способного развивать скорость более 250 км/ч, в Центре диспетчерского управления Октябрьской железной дороги был введен в постоянную эксплуатацию специализированный Центр управления движением (рис. 18.4). Его ядром является современный управляющий комплекс, который с помощью специальных программ и математических методов вырабатывает регулировочные решения и по быстродействующим каналам связи передает их на управляемые объекты: устройства диспетчерской централизации, бортовую систему автоведения поезда, автоматизированные рабочие места диспетчеров, которые теперь сосредоточены в одном операционном зале. Здесь установлено информационное табло коллективного пользования размером 12,5×2 м, на котором отображается поездная ситуация.

18.2. Становление и развитие принципов эксплуатации и управления движением поездов на ВСМ

Рассмотрение формирования принципов эксплуатации и управления движением высокоскоростных поездов невозможно без анализа основных этапов развития систем управления ВСМ в целом, СЦБ и связи, систем управления поездами. Материал данного раздела неизбежно пересекается с изложенным в главах 11, 15 (п. 15.2) и 17.

Как отмечалось ранее, в 50-е годы XX в. в ряде стран, прежде всего во Франции, США, ФРГ, Италии, Японии, СССР велись интенсивные научные исследования и инженерные разработки в области повышения скорости движения на железных дорогах. Необходимо отметить, что в 30—40-е годы скоростное движение в технически развитых странах — США, Франции, Германии, Италии, Великобритании, уже осуществлялось на значительном полигоне. К концу 30-х годов XX в. примерно на 30—40 тыс. км железных дорог США обращались скоростные поезда. К этому времени в Германии суммарная длина линий для скоростного движения была самой большой в Европе — около 22 тыс. км, но интенсивность движения скоростных поездов (число пар поездов в сутки) на тех или иных направлениях не превышало нескольких единиц (самое большое приближалось к десятку). Пропуск скоростных поездов осуществлялся, как правило, при закрытии на значительном расстоянии линии движения всех других поездов. Особо сложные условия для обеспечения скоростного движения складывались в крупных железнодорожных узлах. Даже при выделении путей для скоростных поездов на участках входов в крупные города было необходимо устройство многозначной автоблокировки, позволявшей совместить движение грузовых, пригородных, обычных пассажирских и скоростных поездов.

К середине 60-х годов во Франции и ФРГ был создан подвижной состав, устройства

¹ В частности, проезд для детей школьного возраста, которых не могут сопровождать родные или близкие; железнодорожная компания берет под свою ответственность, обеспечивая посадку в поезд и сопровождение в пути до момента встречи их на станции назначения.

пути, электроснабжения и системы многозначной автоблокировки и локомотивной сигнализации непрерывного типа с автостопами, что позволило на нескольких участках железных дорог обеспечить в регулярной коммерческой эксплуатации движение поездов со скоростями 180—200 км/ч. Однако скоростное движение поездов не носило еще массового характера и, подобно сегодняшней эксплуатации поездов «Сапсан» в России, организовывалось на обычных реконструированных железнодорожных линиях, где совмещалось с движением других, относительно медленных поездов. Практически, в 50—60-е годы XX в. не было случаев, когда требовалось обеспечить при скорости порядка 200 км/ч интенсивное движение поездов с интервалами попутного следования 10 мин и менее.

Эта задача впервые была поставлена в конце 50-х годов XX в. в Японии. Здесь в 1964 г. начался новый этап истории железнодорожного транспорта: была введена в эксплуатацию первая специализированная высокоскоростная железнодорожная магистраль Токио — Осака протяженностью 515,4 км, предназначенная для движения электропоездов нового поколения со скоростью до 210 км/ч.

К моменту строительства первой высокоскоростной линии японские железнодорожники имели опыт организации движения поездов в условиях интенсивного графика с максимальной скоростью около 100 км/ч, для чего применялись передовые по тем временам устройства СЦБ и связи. К началу 60-х годов автоматической блокировкой были оборудованы 99 % протяженности двухпутных железнодорожных линий Японии, на отдельных участках которых в сутки проходило до 280 пар поездов.

Требования к устройствам автоматики, телемеханики и связи на первой высокоскоростной магистрали диктовались новой идеологией организации движения поездов, принятой в Японии на линиях Синкансэн и впоследствии ставшей во многом канонической для ВСМ: поезд постоянно-

го формирования¹ осуществляют челночные рейсы между конечными станциями. При нормальном режиме движения по графику на промежуточных станциях какой-либо маневровой работы не производится, в силу этого, схемы их путевого развития (см. в главе 9), весьма просты: два главных, и, как правило, не более двух боковых приемо-отправочных путей, на которые принимаются поезда, имеющие остановку на данной станции. Главные пути этих станций предназначаются для безостановочного пропуска поездов и обычно не имеют пассажирских платформ.

В настоящее время во всех странах, имеющих ВСМ, по ним осуществляются только пассажирские перевозки, за исключением Франции, где в обращении находятся почтовые поезда, а также Германии и Италии, где, в силу особенностей концепции организации высокоскоростного движения, по участкам ВСМ пропускаются специальные грузовые поезда с максимальной скоростью до 160 км/ч. К вопросу о целесообразности осуществления по специализированным ВСМ перевозок ценных и скоропортящихся грузов неоднократно обращались ученые-экономисты, владельцы и руководители железнодорожных и экспедиторских компаний, однако до сих пор не сформулированы какие-либо заслуживающие внимания коммерческие предложения, поэтому специализированные высокоскоростные железные дороги остаются пассажирскими.

На большинстве ВСМ в расписание введены высокоскоростные поезда двух категорий, которые условно обозначим как «ускоренные» и «обычные». В Японии первые получили название «Хикари» («свет» или «вспышка молнии»), а вторые — «Кодама» («лесное эхо»). И те и другие поезда движутся по перегонам с одинаковыми максимальными установленными скоростями. Но первые не имеют остановок вообще или останавливаются не более, чем на одной-двух станциях, поэтому проходят весь маршрут за

¹ На протяжении всего жизненного цикла поезда ВСМ, как правило, эксплуатируются в том формировании, в котором вышли из заводских ворот.

меньшее время, чем вторые, которые останавливаются на большинстве промежуточных станций. В 1992 г. на ВСМ Японии в расписание были введены еще более быстрые поезда, не имеющие промежуточных остановок между конечными пунктами, «Нозоми» (от японского «мечта»). Например, в настоящее время на линии Токио — Осака поезда «Хикари» и «Нозоми» в сумме составляют примерно три четверти от общего числа поездов, включенных в расписание. Такая модель эксплуатации позволяет удовлетворить запросы наибольшего числа пассажиров и привлечь максимальный пассажиропоток, но требует организации обгонов ускоренными поездами обычных, при малых интервалах попутного следования. Это предъявляет повышенные требования к надежности и быстродействию систем автоматической блокировки, электрической централизации на промежуточных станциях.

В 1964 г. при открытии первой ВСМ в Японии в ее расписание ежесуточно было включено 30 пар поездов, интервал попутного следования составлял около 15 мин; через 5 лет (1969 г.) их число возросло до 100 пар; в 2007 г. — до 150 пар (см. рис. 18.1). В настоящее время на отдельных линиях ВСМ в Японии в расписании предусмотрено до 180 пар поездов в сутки, в часы пик интервал попутного следования составляет около 3—5 мин.

Устройства СЦБ и связи для первой ВСМ Токио—Осака были разработаны, исходя из передовых достижений в области железнодорожной автоматики, телемеханики и связи, но не содержали каких-либо существенно новых технических решений, за исключением отказа от напольных светофоров: информация машинистам о свободности или занятости впередилежащих участков передавалась исключительно локомотивной сигнализацией. В 50-е годы прошлого века японские железнодорожные специалисты, помимо проведения собственных научных и опытно-конструкторских работ во всех областях железнодорожной техники, развернули очень большую работу в рамках Международной ассоциации желез-

нодорожных конгрессов по выявлению и обобщению передовых достижений зарубежных стран. Идея автоблокировки без напольных светофоров с передачей информации машинисту только через локомотивные индикаторы была реализована на практике в США и СССР (на линии Москва — Владимир автоблокировка без напольных светофоров была введена в эксплуатацию в 1935 г.). В 50 — начале 60-х годов XX в. идея подобных систем автоблокировки активно обсуждалась среди специалистов.

Безопасное попутное следование поездов обеспечивалось на первой ВСМ в Японии автоматической системой управления движением поездов (АСУДП)¹, включавшей перегонные, станционные и поездные устройства: многозначную автоматическую блокировку с рельсовыми цепями переменного тока, путевые индукторы и станционные кабельные шлейфы; частотную автоматическую локомотивную сигнализацию непрерывного действия с контролем скорости движения поезда, автостопом и автоматическим управлением тормозами. Машинист поезда, ориентируясь на расписание, осуществлял трогание поезда со станции, разгон до установленной скорости, ее корректировку по показаниям локомотивного светофора (индикатора), торможение поезда при следующей остановке на станции.

Устройства АСУДП обеспечивали контроль свободности блок-участков, готовности маршрутов движения по станционным путям и, исходя из этого, формировали частотный код локомотивной сигнализации (6 основных и 3 дополнительных значения), направляемый в рельсовые цепи навстречу движению поезда. Частотные сигналы расшифровывались поездными устройствами: на локомотивном индикаторе появлялись значения разрешенной скорости и, в случае ее превышения, происходило автоматическое включение тормозов, а после снижения скорости до разрешенного уровня — их последующий отпуск. Путевые индукторы обеспечивали безопасное

¹ От англ.: Automatic Train Control (ATC) — Автоматическая система управления движением поезда.

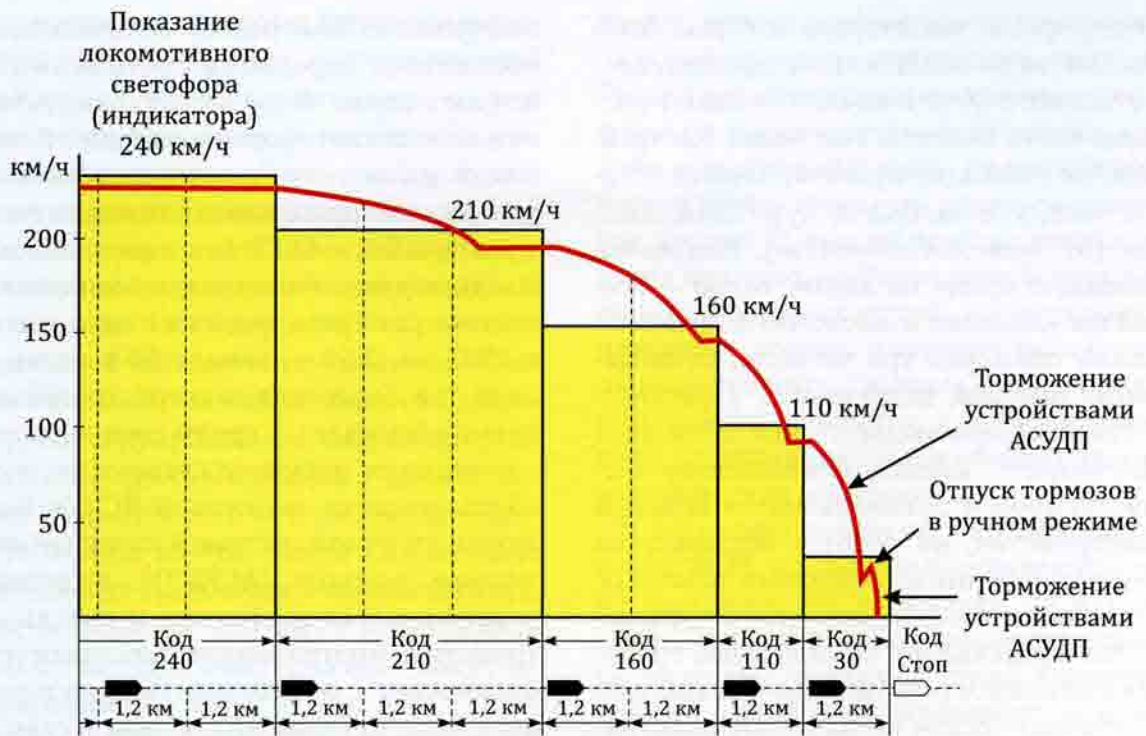


Рис. 18.5. Тормозная диаграмма поезда Синкансэн при аналоговой АСУДП. Япония. 1964 г.

торможение при нагоне впереди идущего поезда (рис. 18.5). Через кабельные шлейфы подавался сигнал остановки при неправильно заданном маршруте.

Аппаратура АСУДП не имела непосредственной связи с центральным диспетчерским постом. Диспетчер, управляя движением поездов и обеспечивая выполнение графика, взаимодействовал с машинистами поездов и дежурными по станциям. Машинисты поездов в ручном режиме, исходя из имеющейся информации, в том числе и полученной от АСУДП, осуществляли управление (за исключением случаев срабатывания автостопа, когда поезд останавливался вне зависимости от действий машиниста).

Важной функцией АСУДП являлось также обеспечение экстренной остановки или снижения скорости поездов при получении информации от датчиков, которые сигнализировали об аварийном выходе за габарит элементов подвижного состава, повреждении искусственных сооружений и ограждения линии; от метеорологических постов (об ураганном ветре, ливне); от сейсмических датчиков и др., а также от сиг-

нальных приборов экстренной остановки поезда, которые на определенном расстоянии друг от друга размещены на опорах контактной сети и ими могут при необходимости воспользоваться путевые обходчики. Начиная с первых АСУДП и до современных систем управления движением поездов, снятие электрического напряжения с контактной сети (прекращение подачи электропитания путем его отключения или в случае аварии) является для устройств автоторможения поезда сигналом экстренной остановки.

На первых линиях высокоскоростного движения диспетчер с Центрального диспетчерского поста имел возможность по проводной избирательной связи вызвать дежурного любой станции линии, дежурных группы станций или всех станций одновременно. В конце 60-х годов прошлого века на линии Синкансэн была устроена поездная радиосвязь диспетчера с машинистами и начальниками поездов. На центральном посту магистрали устройствами диспетчерского контроля отображалась поездная ситуация на всей линии (рис. 18.6). Прямое задание маршрутов следования поездов диспет-



Рис. 18.6. Упрощенная схема системы управления движением поездов на ВСМ Токио — Осака в первые годы эксплуатации (1964—1972)

чер мог осуществить только на конечных станциях Токио и Осака. Установка маршрутов на промежуточных станциях (проход по главному пути или прием на боковой путь с остановкой) осуществлялась каждым из дежурных индивидуально с помощью маршрутно-релейной централизации (МРЦ), в которую вводился код, переданный с приближающегося поезда, обозначавший его скоростную категорию: «Хикари» или «Кодама».

В 1972 г. в Японии на ВСМ Токио — Осака, продленной до станции Окаяма¹ (161 км), было завершено создание новой компьютерной системы управления движением поездов, получившей название COMTRAC² (рис. 18.7), что стало важным шагом в развитии технических устройств автоматизированного управления на железнодорожном

ном транспорте. Идеология и технические решения новой системы оказали большое влияние на дальнейшую разработку устройств управления ВСМ во всем мире.

Система COMTRAC функционировала совместно с модернизированной диспетчерской централизацией (ДЦ). Диспетчер получил возможность непосредственно с центрального поста задавать маршруты следования поездов на всех станциях магистрали. Связь между станционными, перегонными и центральными устройствами осуществлялась по оптоволоконным линиям. Все оперативное управление движением поездов столь напряженно работающей линии и всей ее инфраструктурой было сосредоточено функционально, технически, и территориально на центральном диспетчерском посту. Был реализован принцип «все управление сосредоточено в одном месте»³. В одном помещении размещены диспетчеры, отвечающие за все направления деятельности, работающие под началом главного диспетчера: поездной диспетчер, отвечающий за общую организацию движения и функционирование линии, в том числе в

¹ После приватизации государственных железных дорог в Японии в 1987 г. образовалось 6 территориальных железнодорожных компаний. ВСМ Токио — Осака («Токайдо») вошла в состав Центральной японской железнодорожной компании, ВСМ Осака — Окаяма — Хаката («Санъё») — в Западную японскую железнодорожную компанию. Однако сохранился единый диспетчерский центр управления ВСМ «Токайдо» и «Санъё».

² COMTRAC — от английского COMputer-Aided TRAffic Control System — компьютерная система управления движением.

³ От англ.: «One Floor Management» — дословно «Все управление на одном этаже».

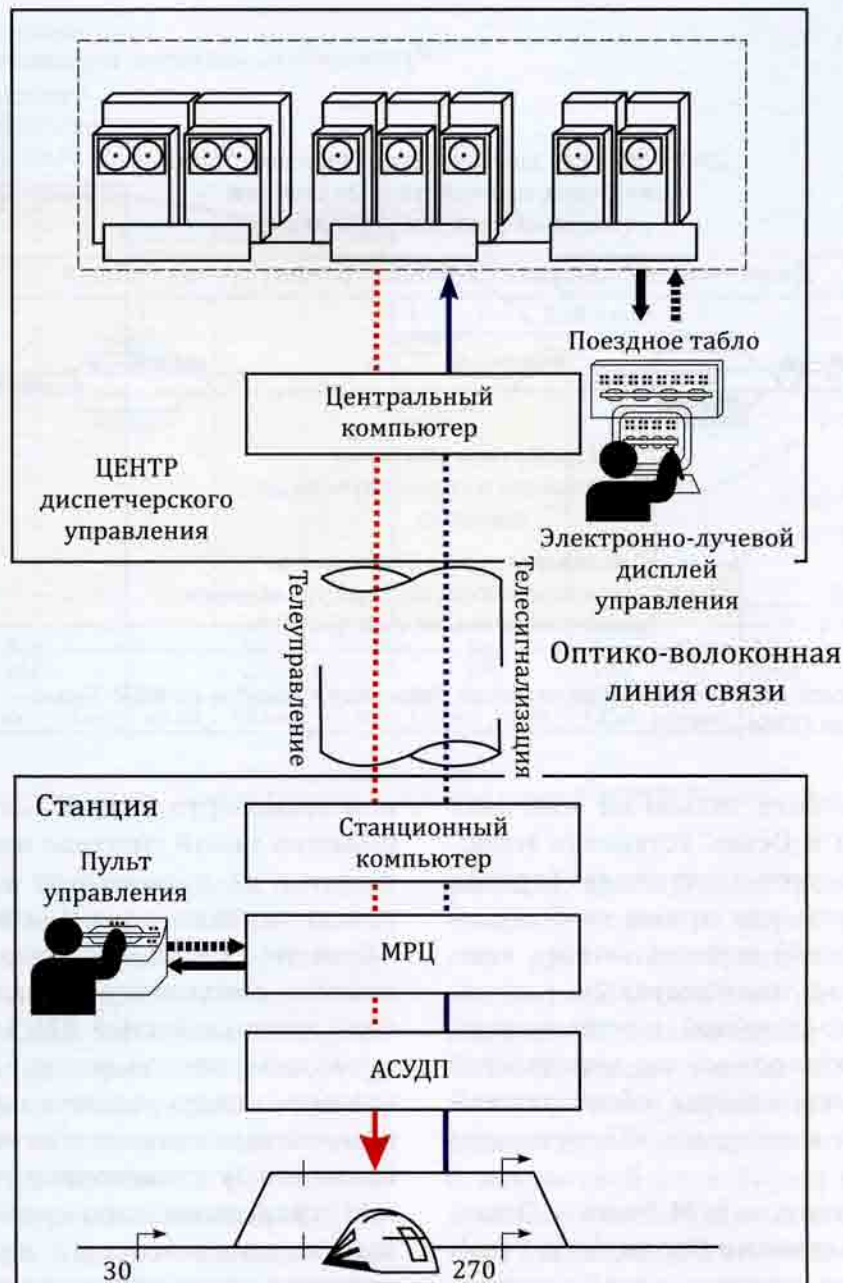


Рис. 18.7. Укрупненная структурная схема компьютерной системы управления движением поездов на линиях Синкансэн (COMTRAC): МРЦ — маршрутно-релейная централизация; АСУДП — автоматизированная система управления движением поездов. Япония. 1972 г.

аварийных ситуациях; пассажирский диспетчер, отвечающий за обслуживание пассажиров, передачу информации о задержке поездов, а также за работу с пассажирами в чрезвычайных ситуациях (включая организацию автобусной развозки пассажиров опоздавших поездов, ночлега, питания и т.д.); диспетчер по подвижному составу; энергодиспетчер; диспетчеры по устройствам СЦБ и связи и др. (рис. 18.8, 18.9).

Эксплуатация COMTRAC обеспечивалась тремя совместно работающими электронно-вычислительными машинами, две из которых находились в действии, а одна — в горячем резерве. Получая от ДЦ информацию о поездной обстановке в режиме реального времени, системой COMTRAC при ориентировании на график движения поездов в конкретный день, составлялся и непрерывно корректировался план текущей



Рис. 18.8. Центр диспетчерского управления ВСМ «Токайдо» и «Санъё». 2003 г.

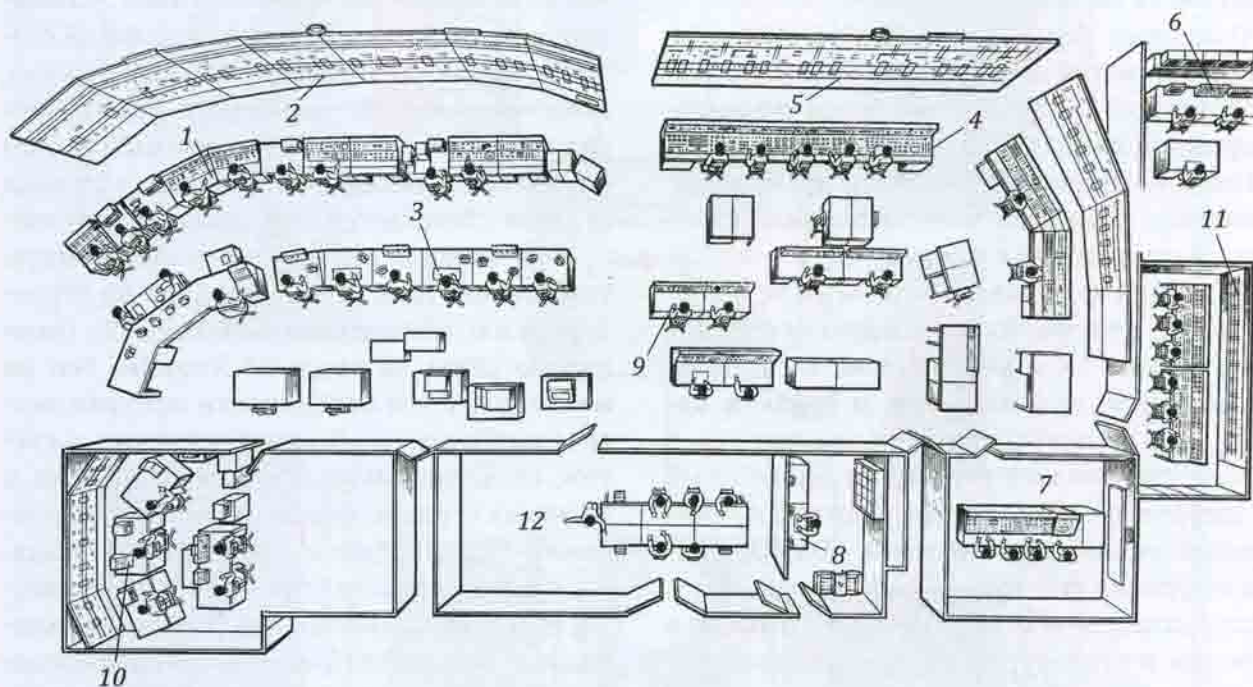


Рис. 18.9. Схема размещения зон управления диспетчерского центра ВСМ «Токайдо» и «Санъё»: 1 — поездной диспетчер; 2 — табло поездного диспетчера; 3 — диспетчер по подвижному составу; 4 — диспетчер электроснабжения; 5 — табло диспетчера электроснабжения; 6 — диспетчер по устройствам COMTRAC; 7 — диспетчер по средствам связи; 8 — дежурный отдела безопасности; 9 — диспетчер по устройствам СЦБ; 10 — пассажирский диспетчер; 11 — диспетчер по устройствам пути и искусственным сооружениям; 12 — зал для совещаний

работы, выявлялись возможные отклонения от графика, представлялись диспетчеру варианты действий по восстановлению движения по графику. В случае опоздания поездов формировалась и передавалась информация для персонала дороги и пассажиров.

Системой COMTRAC осуществлялся в автоматическом режиме набор всех поездных маршрутов с помощью устройств ДЦ, контролировалась правильность их установки, создавался график исполненного движения, на основе которого составлялся общий статистический отчет. С помощью информации, полученной из системы продажи билетов и резервирования мест в поездах, а также данных о работе различных структурных подразделений, отчет дополнялся необходимыми сведениями о коммерческой деятельности магистрали. В функции COMTRAC входили также учет состояния вагонного парка, подготовка и контроль выполнения плана формирования поездов, планирование и учет всех работ по обслуживанию и текущему ремонту технических устройств на линии.

Основные функции COMTRAC сохранились и в системе управления COSMOS¹, разработанной Восточной японской железнодорожной компанией для своих линий BCM «Тохоку», «Дзёэцу», «Нагано» и др. Функциональные схемы, во многом похожие на ту, что была положена в основу системы COSMOS, стали использоваться на BCM Франции, ФРГ, Италии, Испании и других стран.

На рубеже XX и XXI столетий в системах автоматики, телемеханики и связи в целом, и на железнодорожном транспорте, в частности, начался переход от аналоговых к цифровым устройствам. Важной технической новинкой комплекса COSMOS стала цифровая система АСУДП², введенная в эксплуатацию в 2002 г. на BCM «Тохоку» в Японии в структуре интегрированной интеллектуальной системы управления Син-

кансэн Восточной японской железнодорожной компании (рис. 18.10, 18.11).

Применение цифровых способов передачи данных с высокой защищенностью от помех гарантировало необходимую надежность при возросших скоростях и интенсивности движения. Цифровая АСУДП обеспечивает более плавное и точное автоматическое торможение поездов при приближении к занятому участку (рис. 18.12). Было устранено присущее предыдущим устройствам аналоговой АСУДП многократное ступенчатое торможение поезда, приближающегося к занятому блок-участку, создававшее дискомфорт для пассажиров чередой резкого включения и выключения тормозов.

В настоящее время во многих странах продолжается развитие цифровых автоматизированных систем управления движением поездов на BCM на базе микропроцессорной техники с целью повышения их надежности, безопасности, оперативной гибкости, обеспечения новых эксплуатационных возможностей. Автоматизированные системы управления все более активно используются для сбора и анализа различных статистических показателей — технических, экономических, финансовых и др. Идеология создания автоматизированных систем управления движением поездов в разных странах сближается. Как правило, организуются единые интегрированные центры управления (рис. 18.13), близкие по структуре и алгоритму работы к тем, что были рассмотрены на примере Японии. Тем не менее, имеются особенности программного и приборного обеспечения данных систем, создаваемых разными компаниями и в разных странах. Вопрос о системах управления BCM вообще и управления поездами, диспетчерского управления, в частности, неминуемо выходит за рамки технико-технологического процесса, организационной и экономической целесообразности. Он не может не рассматриваться в контексте безопасности, причем и на уровне национальной безопасности страны. Безусловно, в отличие от многих машин, конструкций и их элементов, например, устройств пути,

¹ Англ.: COmputerized Safety, Maintenance and Operation Systems of Sinkansen — Безопасная система обслуживания и управления эксплуатацией Синкансен.

² В англоязычной литературе система обозначается DS-ATC — Digital Automatic Train Control for Sinkansen.

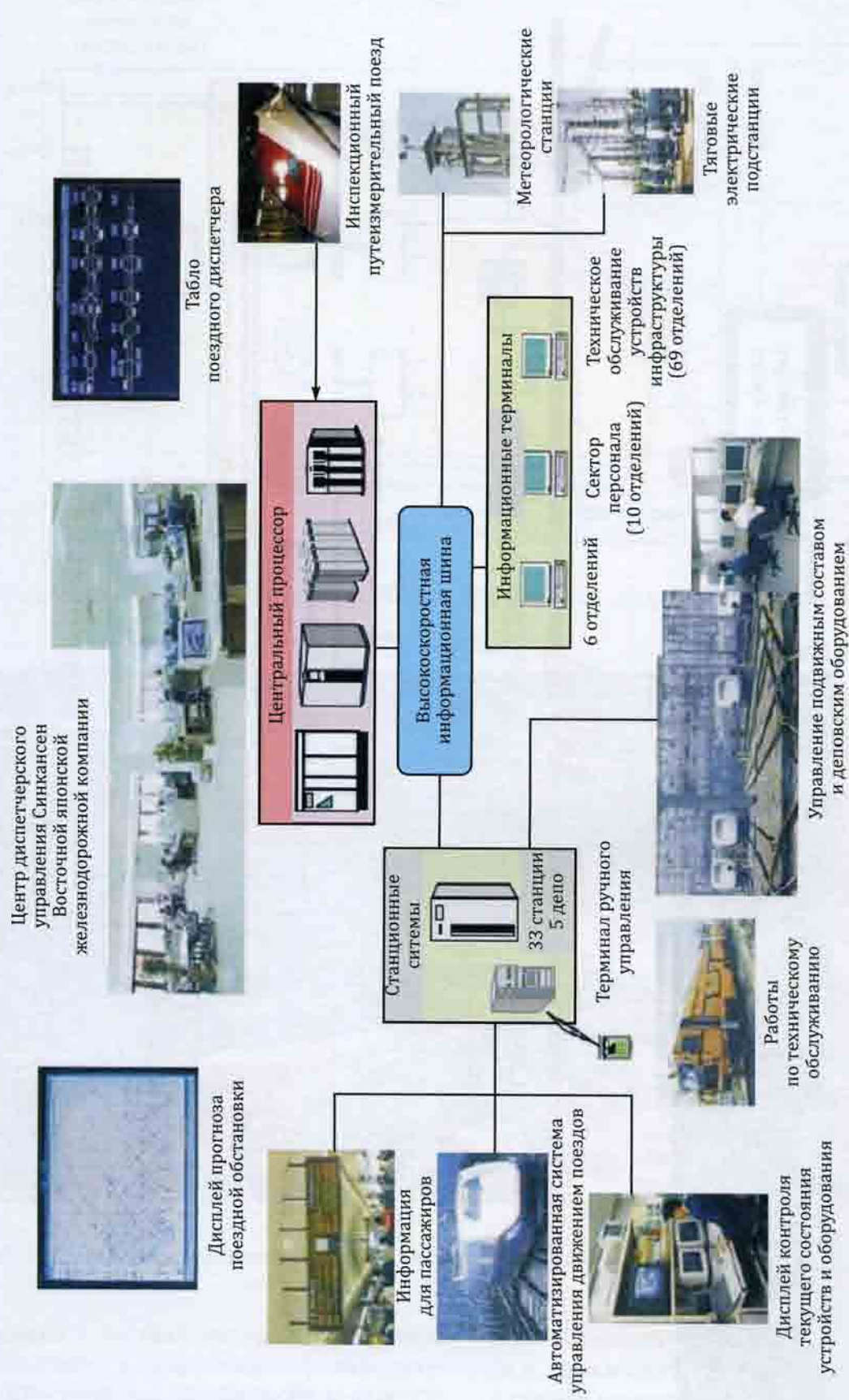


Рис. 18.10. Структура интегрированной интеллектуальной системы управления Синкансэн Восточной японской железнодорожной компании



Бортовой комплект цифровой АСУДП

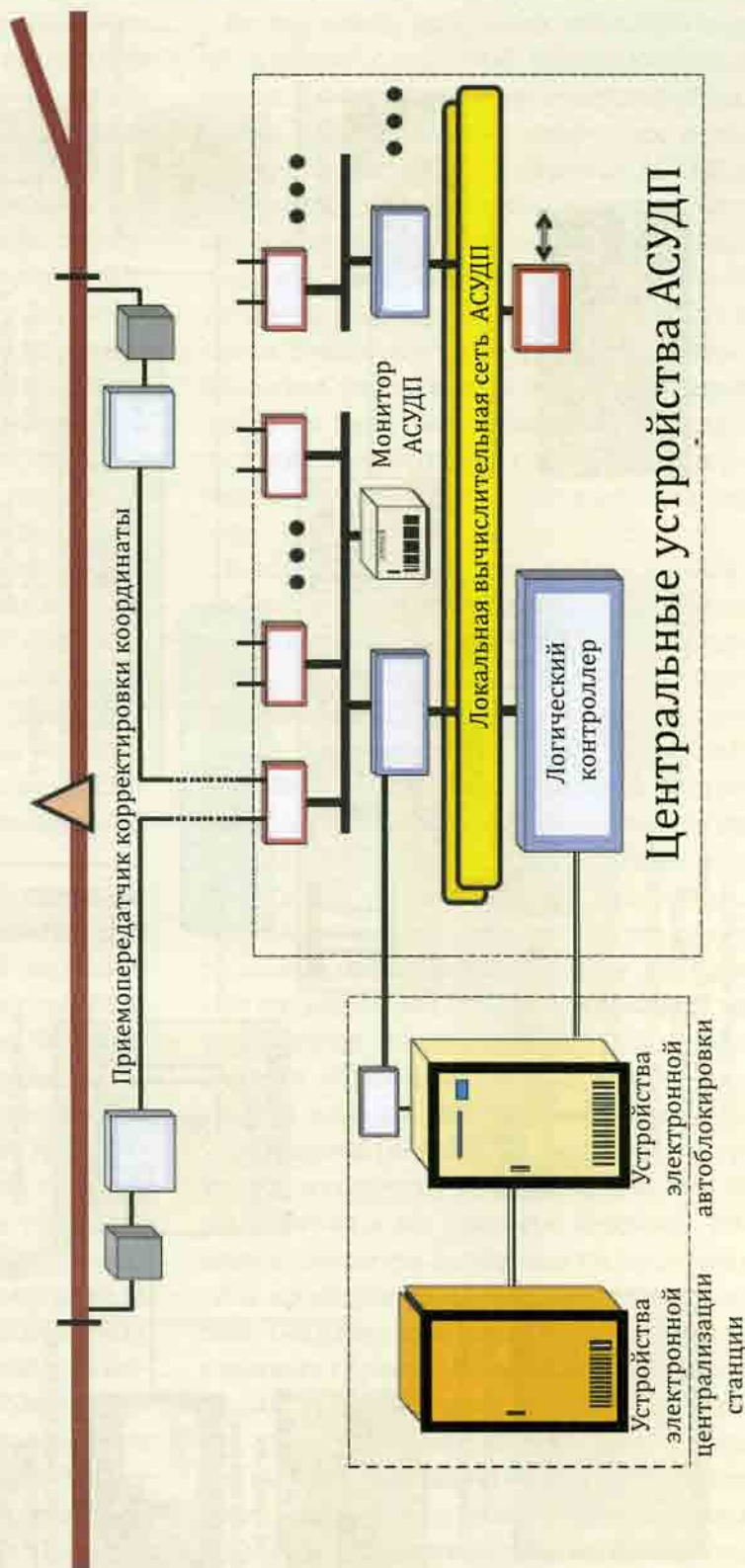
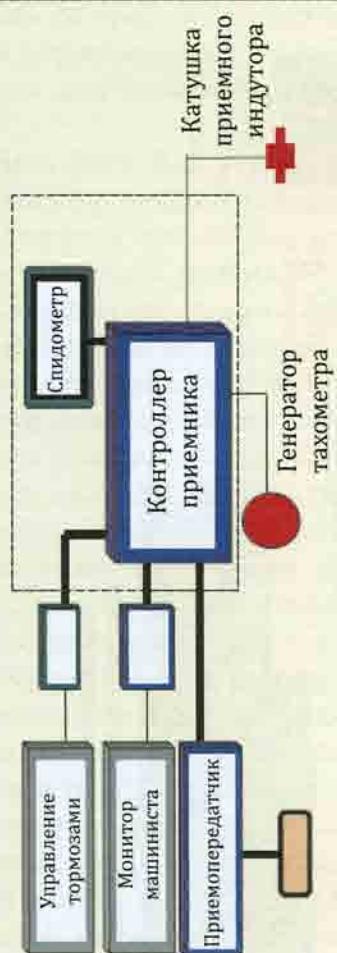


Рис. 18.11. Упрощенная функциональная схема автоматизированной цифровой системы управления движением поездов на Синкансэн, Япония

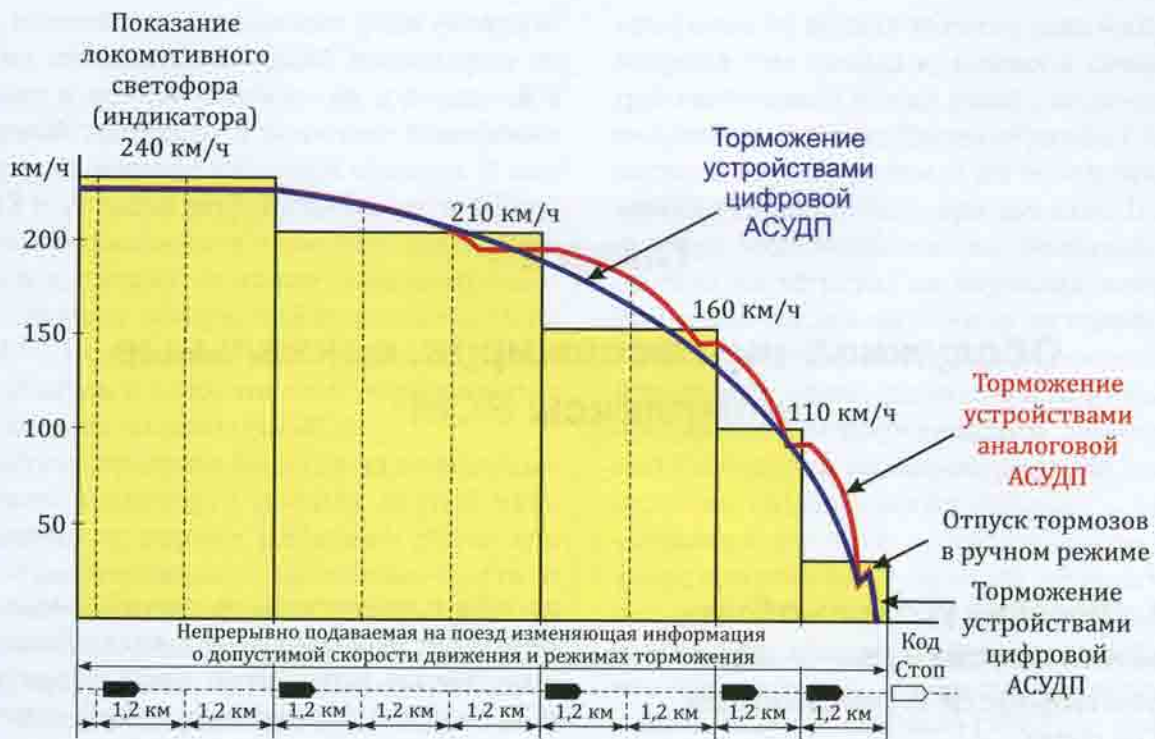


Рис. 18.12. Тормозная диаграмма поезда Синкансэн при цифровой АСУДП. Япония. 2002 г.



Рис. 18.13. Центр диспетчерского управления ВСМ Испании. 2011 г.

подвижного состава, которые могут быть приобретены у зарубежных производителей, программное обеспечение и ответственные компоненты систем управления

ВСМ обязательно должны разрабатываться и производиться собственными силами в стране, создающей у себя высокоскоростной железнодорожный транспорт.

Глава 19

Обслуживание пассажиров, вокзальные комплексы ВСМ¹

19.1. Высокий уровень обслуживания пассажиров — залог эффективности функционирования ВСМ

В четвертой главе настоящего пособия отмечалось, что при выборе пассажирами того или иного вида транспорта, в условиях открытого и достаточно наполненного рынка товаров и услуг, наряду с ценой услуги, безопасностью передвижения, скоростью, удобством расписания и другими факторами, определяющими решение пассажира, значительную роль играет и качество обслуживания.

В различных документах и материалах МСЖД неоднократно отмечалось, что привлекательность высокоскоростных железнодорожных магистралей для пассажиров определяется множеством элементов, ни одним из которых нельзя пренебречь. Время, затраченное пассажиром на поиск информации о расписании движения поездов, на покупку билета, время следования до вокзала в пределах города или ожидания общественного транспорта по прибытии в пункт назначения, должны соотноситься с временем, сэкономленным в поездке по высокоскоростной магистрали, созданной с использованием самых передовых техно-

логий и с привлечением значительных инвестиций. Бывают случаи, когда большие инвестиции в развитие инфраструктуры ВСМ не обеспечивают ожидаемой отдачи в силу неразвитости, на первый взгляд, второстепенных элементов сервиса, низкого уровня услуг для пассажиров.

Обслуживание пассажиров распадается на три фазы. Первая фаза начинается до бронирования или приобретения билетов, когда будущий клиент железнодорожной компании еще, собственно, и не является пассажиром. Эти услуги связаны с предоставлением потенциальному пассажиру необходимой информации. Несмотря на развитие в последние десятилетия новых информационно-рекламных систем, использующих Интернет, не потеряли свою актуальность различные печатные информационные материалы, информационные табло на вокзалах, телефонные справочные службы. Первая фаза обслуживания потенциальных пассажиров включает также различные системы и подсистемы бронирования и продажи билетов. Завершается первая фаза обслуживания прибытием пассажиров на вокзал и включает услуги, которые могут быть предоставлены пассажиру на вокзале перед посадкой в вагон.

Вторая фаза обслуживания включает собственно саму поездку — услуги, предоставляемые в пути следования и, в случае необходимости, при пересадке с одного поезда на другой или на другой вид транспорта.

¹ В главе использованы материалы совместных публикаций автора с Т.М. Белаш и М.М. Уздиным.

И, наконец, завершающая фаза обслуживания связана с высадкой пассажиров из поезда в пункте назначения и посадкой в местный транспорт и включает возможные услуги на вокзале конечной станции. В главе 13 и 14 были затронуты вопросы обслуживания пассажиров в поездах, далее обратимся к одному из важнейших компонентов системы обслуживания пассажиров на ВСМ — резервированию и продаже билетов, а затем к особенностям обслуживания пассажиров на вокзалах ВСМ.

Система продажи билетов на железнодорожном транспорте прошла долгий путь развития от первых железных дорог, где она сформировалась на основе опыта и приемов оплаты проезда на междугородных конных дилижансах начала XIX века¹, до современных виртуальных электронных билетов, заказываемых и оплачиваемых через сеть Интернет.

С началом эксплуатации высокоскоростных поездов в Японии, стимулировавших необычайный рост подвижности населения, ускоряется развитие агентств по продаже и бронированию билетов, служб предварительного заказа билетов по телефону и начинается становление автоматизированных систем бронирования билетов.

Уже в конце 60-х годов XX столетия в Японии функционировали автоматические системы, с помощью которых будущие пассажиры могли по обыкновенному телефонному аппарату автоматически резервировать места на нужные им поезда². Получив по телефону номер своего заказа, пассажир

прибывал на вокзал за несколько минут до отправления поезда и, назвав в специальной кассе брони номер заказа, оплачивал и получал свой билет. Таким образом, клиент, затратив время на заказ по телефону, сэкономил его на вокзале при отъезде. В свою очередь железнодорожная компания экономила на затратах на персонал, который принимал заказы лично или по телефону.

В настоящее время компании-операторы используют самые разнообразные способы продажи и предварительного бронирования билетов на высокоскоростные поезда, включая традиционную продажу в кассах вокзалов и агентств; прием заказов по телефону; продажу билетов через автоматические устройства и виртуальные безбумажные билеты, продаваемые через сеть Интернет. Так, например, Национальное общество железных дорог Франции (SNCF) — один из крупнейших в мире перевозчиков высокоскоростными поездами, в настоящее время во Франции имеет кассы на 1100 железнодорожных станциях, 210 пунктов продажи билетов, 1500 автоматических билетных терминалов. Кроме того, билеты на поезда TGV в стране продают 3000 туристических агентств. В целом около 70 % пассажиров в настоящее время заказывают билеты через сеть Интернет.

Для продажи билетов на поезда TGV во Франции и на международные маршруты из Парижа в Лондон, Брюссель, Кёльн и Амстердам организована международная сеть агентств, действующих в десятках городов мира, включая практически все крупнейшие города Западной Европы, а также Нью-Йорк, Буэнос-Айрес, Дубай, Мумбаи, Сидней, Гонконг, Токио, Сеул, и др. SNCF сотрудничает при продаже билетов с крупнейшими европейскими билетными железнодорожными сетями.

В последние годы для проезда на транспорте быстрыми темпами развивается использование так называемых «электронных билетов». При этом билет не изготавливается на бумажном носителе, а вся информация о пассажире и предстоящей поездке, включая сведения о бронировании мест и оплате проезда, хранятся в компьютерных

¹ Происходили и существенные нововведения. На первой в России Царскосельской железной дороге, открытой в 1837 г., пассажирам продавали для посадки в поезд латунные билеты многократного использования, которые в вагоне отбирались кондукторами и возвращались в кассы.

² Процедура заказа билета была довольно громоздкой и требовала немало времени: звонок клиента по телефону в службу автоматического бронирования автоматическому регистрирующему устройству (ряд вопросов и ответов на них набором соответствующих чисел на диске (позже кнопочном устройстве) телефонного аппарата, затем подтверждающий ответ клиента о правильности повторным набором и далее ввод номера поезда, числа необходимых билетов и других сведений). В конце клиенту сообщался номер принятого заказа.

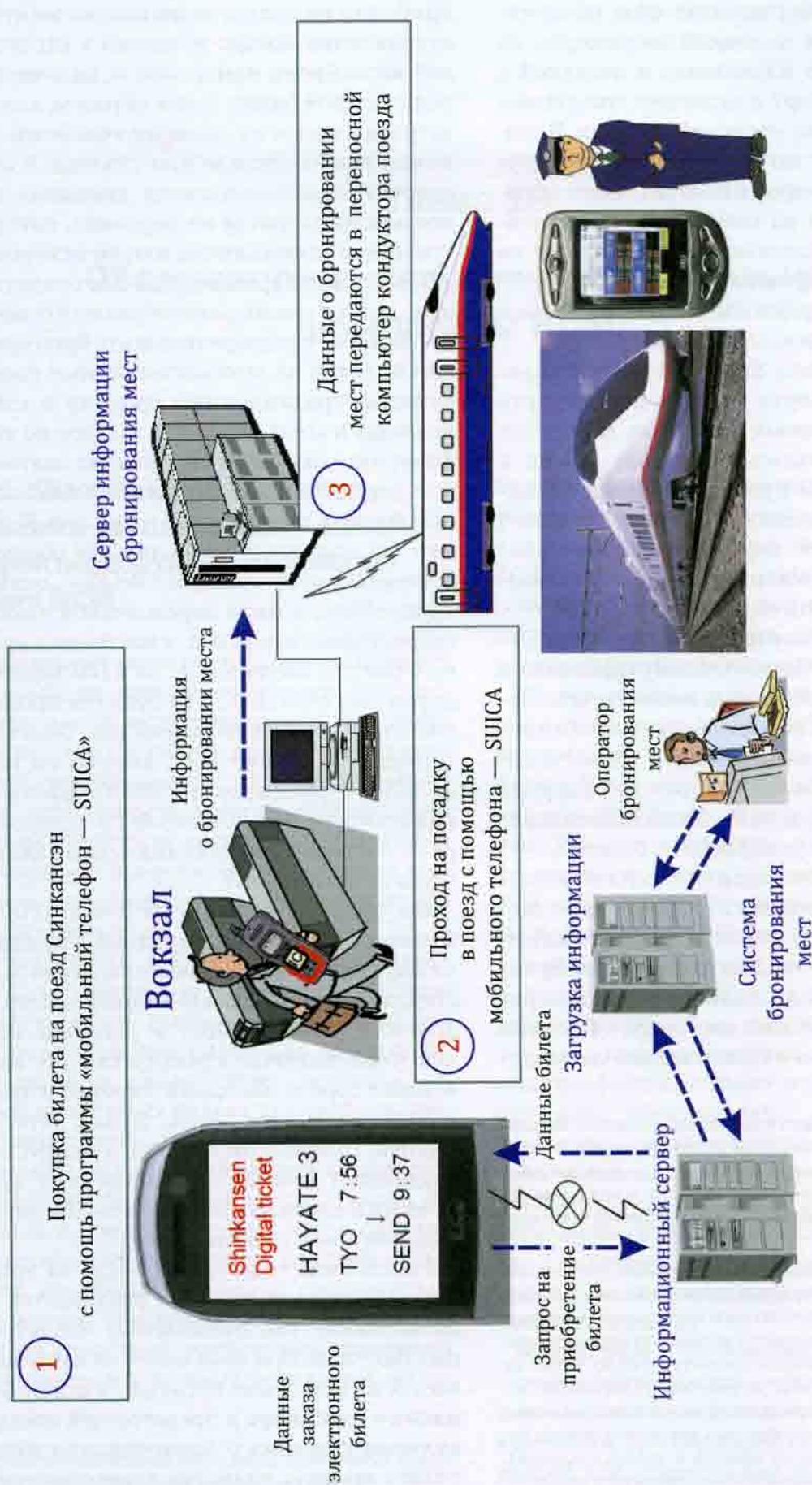


Рис. 19.1. Структурная схема продажи и реализации электронных билетов системы SUICA на поезда Синкансэн Восточной японской железной дороги

базах данных организаций-перевозчиков и компаний, осуществляющих бронирование, продажу билетов и электронные платежи.

При поездке пассажир подтверждает свою личность или право на использование билета (предъявляет паспорт, другое удостоверение личности, электронный носитель информации о пассажире и т.п.) и допускается на посадку. Первыми на электронные билеты в последнее десятилетие XX в. начали переходить авиаперевозчики, затем железнодорожные компании и предприятия местного транспорта.

Преимуществом электронных билетов является отсутствие необходимости печатать проездные документы на дорогих сортах бумаги с защитными свойствами от подделок (водяные знаки, голографические изображения и т.п.), более высокая степень защищенности всей системы продажи, бронирования и проверки подлинности билетов от ошибок и злоумышленных действий, что обеспечивает сокращение затрат перевозчиков. По некоторым данным величина суммарных расходов на изготовление, учет, хранение, транспортировку, оформление и утилизацию бумажных авиабилетов доходит до 10 долларов США на одну поездку.

При использовании электронных билетов сведения о предстоящей поездке (только для информации пассажира) печатают на обычной бумаге на компьютерном принтере в виде так называемой «маршрут-квитанции». А в последние годы часто уже не печатается вообще: данные билета могут сохраняться в мобильных телефонах и предъявляться при регистрации в аэропорту или на вокзале в виде штрих-кода на экране мобильного устройства связи.

На высокоскоростном железнодорожном транспорте одними из первых использование электронных билетов путем их продажи через сеть Интернет начали японские железнодорожные компании. В дополнение к этому с 2008 г. Восточная японская железнодорожная компания активно внедряет систему приобретения и реализации электронных билетов на поезда Синкансэн с использованием мобильных телефонов

с помощью программы «SUICA» (SUICA — от англ.: Super Urban Intelligent Card — Супер интеллектуальные городские карточки). К тому времени в Японии система SUICA стала популярна у населения для оплаты проезда на городском транспорте и оплаты различных покупок. На *рис. 19.1* на примере структурной схемы продажи и реализации электронных билетов системы SUICA на поезде Синкансэн Восточной японской железнодорожной компании рассмотрен алгоритм действия современных систем бронирования мест и оплаты проезда по ВСМ. На схеме видно, что с помощью мобильного телефона клиент может заказать и оплатить со своего электронного счета билет на нужный ему поезд Синкансэн. На вокзале при выходе пассажира на платформу через автоматический турникет с помощью бесконтактного устройства происходит взаимодействие с мобильным телефоном пассажира, проверка наличия забронированного и оплаченного места на конкретный поезд и, в случае подтверждения информации, пассажир пропускается на посадку. Эта же информация поступает в переносной компьютер кондуктора-контролера поезда. Во время его прохода по вагонам переносной компьютер взаимодействует с мобильными телефонами пассажиров, считывает необходимую информацию и выдает ее кондуктору-контролеру.

Похожие системы бронирования и оплаты электронных билетов разных модификаций с использованием Интернета и мобильных телефонов применяются практически всеми железнодорожными компаниями-перевозчиками на высокоскоростных железнодорожных маршрутах, включая ОАО «Российские железные дороги».

19.2. Особенности вокзалов как крупных общественно-деловых центров

Вокзал, который иногда образно называют окном в город или его визитной карточкой, функционально включает в себя,

помимо здания с комплексом устройств для обслуживания пассажиров, привокзальную площадь и подъезды для городского транспорта. Являясь составной частью пассажирской станции, вокзал объединяет различные виды городского транспорта и, как правило, входит в число основных архитектурных ансамблей города. В связи с этим проектированию новых и реконструкции существующих вокзалов придается большое значение, особенно на высокоскоростных линиях, сочетающих быстроту перевозок с надежностью и комфортабельностью.

По существующей классификации, в зависимости от количества пассажиров, одновременно скапливающихся в период максимального движения, вокзалы в России подразделяются на крупные (свыше 1500 человек), большие (от 700 до 1500), средние (от 200 до 700) и малые (от 50 до 200 человек).

В России разработаны и получили внедрение основные принципы проектирования вокзалов в крупных городах. В числе этих принципов: стремление сократить путь пассажиров из города к перронным путям; устранение излишних подъемов и спусков на пути пассажиров; разделение пассажиропотоков отправления и прибытия; создание

удобств для обслуживания транзитных пассажиров.

Разработаны методики расчета пропускной способности переходов, лестниц, залов ожидания, билетных касс. Отечественные специалисты внесли существенный вклад в совершенствование архитектурно-строительного проектирования и инженерного обеспечения вокзалов. В этой области работали такие известные отечественные архитекторы, как К.А. Тон, Ф.О. Шехтель, А.В. Щусев, И.Г. Явейн и др., в оформлении вокзальных интерьеров принимали участие крупные художники: Н.К. Рерих, Е.Е. Лансере, Б.М. Кустодиев.

Основные тенденции в развитии железнодорожных вокзалов как пересадочных узлов, соединяющих различные виды транспорта, предвидел в 30-е годы прошлого столетия профессор ЛИИЖТ И.Г. Явейн. В его работах получил отражение сформировавшийся к настоящему времени так называемый метод «универсального проектирования» общественных зданий, в частности вокзалов, одинаково пригодных и удобных для пользования всеми категориями пассажиров. Им же решены вопросы рационального взаимного расположения вокзалов, привокзальных площадей и подъездов для городского транспорта (рис. 19.2). При

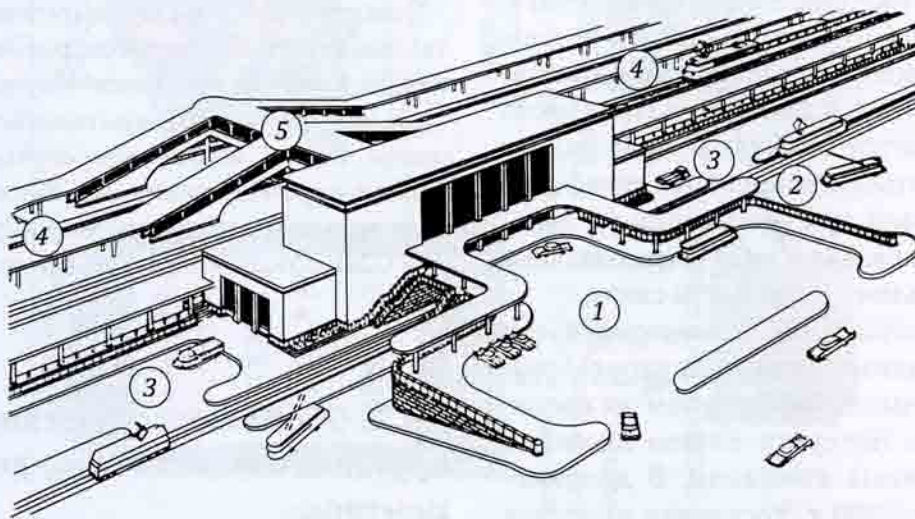


Рис. 19.2. Организация подъездов к вокзалу в двух уровнях при расположении железнодорожных путей и платформ ниже привокзальной площади: 1 — верхняя площадь с подъездами автомобилей и автобусов; 2 — остановки троллейбусов и трамваев; 3 — подъезды грузовых и почтовых автомобилей; 4 — платформы пассажирской станции; 5 — переходный мостик

проектировании вокзалов широкое применение получила планировка помещений по принципу расчлененных потоков: вокзал состоит из одного зала и прилегающих к нему небольших помещений. В зале пассажир может произвести все необходимые операции, пройти из него в другие помещения и выйти непосредственно на пассажирские платформы. Все это позволяет сократить общую площадь здания и облегчить ориентацию в нем.

К вокзалам, как к общественным зданиям, предъявляются определенные требования:

- минимизация времени пассажира на ожидание обслуживания, а также на передвижение к месту обслуживания (удобство и быстрота пересадки);

- доступность различных видов обслуживания, возможность выбора конкретного товара или услуги, а также времени, формы, и места обслуживания, различных по цене и качеству;

- физический и психологический комфорт обслуживания, безопасность, доступность залов ожидания, оснащенных удобной мебелью;

- организация общественного питания, наличие комнаты матери и ребенка, специальный сервис для лиц с ограниченными физическими возможностями и пр.

Посетителей вокзалов интересует доступность, легкость получения информации, безопасность нахождения на его территории, чистота и эстетическая красота пространства. В крупных вокзальных комплексах должны предоставляться многие виды услуг, начиная от стандартного торгового павильона, заведения общественного питания, почтового отделения, химчистки, объектов бытового обслуживания, до возможности использования современных информационных систем (зоны беспроводного доступа в Интернет — Wi-Fi), пользование терминалами банкоматов, электронных платежных систем и т.п.

В последние десятилетия в России реализовано несколько крупных проектов сооружения новых и комплексная реконструк-

ция существующих вокзалов, во многом отвечающих международным стандартам. Например, в преддверии Олимпийских зимних игр 2014 года в городе Сочи в октябре 2013 г. на железнодорожной станции Адлер был открыт новый вокзал, обустроенный в соответствии с самыми передовыми требованиями обслуживания пассажиров.

При строительстве вокзалов на ВСМ из-за отсутствия отечественного опыта придется впервые решать многие сложные проблемы с учетом упомянутых выше факторов, и прежде всего — размеров пассажиропотоков, близости вокзалов к историческим центрам городов, геологических, климатических и экологических условий, технического состояния и условий работы городского транспорта, развития туризма и коммерческой деятельности. В этом отношении полезен опыт ВСМ европейских стран, Японии и КНР.

19.3. Организация вокзальных комплексов на высокоскоростных железнодорожных линиях

Исходя из задач массового привлечения пассажиров, увеличения прибыли и достижения положительных результатов в конкурентной борьбе с другими видами транспорта, на зарубежных ВСМ (в Японии, Франции, Германии, Италии, Испании и других странах) стало правилом размещение станций и вокзалов в центральной части городов.

Особенности архитектурных и инженерных решений вокзалов ВСМ невозможно выявить без рассмотрения концептуальных отличий в проектировании самих высокоскоростных линий.

В *Японии* и *Испании* строят ВСМ с колеями, отличной от общей железнодорожной сети, вследствие чего поезда ВСМ не могут выходить на пути остальной железнодорожной сети. Это обстоятельство вызвало

необходимость создать на ВСМ отдельные пассажирские станции или ввести дополнительные пути для подачи высокоскоростных поездов к перронам существующих реконструированных вокзалов.

Французская модель предусматривает строительство высокоскоростных магистралей только для движения специального подвижного состава. В то же время высокоскоростные поезда могут выходить на пути общей сети железных дорог, имеющих одинаковую с ВСМ ширину колеи.

Итальянская и германская модели исходят из необходимости модернизации существующих железнодорожных линий. При этом вновь построенные участки для высокоскоростного движения объединяются с реконструированными железнодорожными линиями в единую систему. По ВСМ обращаются не только высокоскоростной, но и скоростной пассажирский подвижной состав, а также ускоренные грузовые поезда облегченного типа.

Возможность движения высокоскоростных поездов по путям обычных железных дорог во Франции, Италии, Германии позволила использовать существующие вокзалы, как правило, после их комплексной реконструкции и расширения. В некоторых случаях строились новые вокзалы с сохранением сложившихся внешних архитектурных форм.

В России планируется создание ВСМ с колеей 1520 мм, т.е. они будут совместимы со всей железнодорожной сетью страны, что приближает вокзалы будущих ВСМ нашей страны к моделям, реализованным во Франции, Италии и Германии, однако, необходимо учитывать и опыт других стран, успешно реализовавших программы высокоскоростного железнодорожного движения. Перевозочный процесс высокоскоростных магистралей характеризуется стремительностью, высокой интенсивностью движения и большими пассажиропотоками, что накладывает свой отпечаток на решения по переустройству существующих и созданию новых пассажирских комплексов ВСМ.

19.4. Меры по обеспечению доступности и удобства пользования услугами вокзалов

Многовековым укладом жизни человечества считалось само собой разумеющимся, что люди с определенными физическими недостатками (слабое зрение или его отсутствие, затрудненная подвижность в силу болезни, увечья или возрастных изменений) ограничены в свободе передвижения из-за множества барьеров, физических препятствий, возникающих у них на пути. Однако за последние десятилетия в развитых странах представления в этой области принципиально изменились. Все больше укрепляется в общественном сознании мнение, что в окружающем нас мире необходимо создавать условия для свободного передвижения людей с ограниченными физическими возможностями. Необходимо обустройства, преобразовывать неблагоприятную для них среду обитания, устраняя физические препятствия для передвижения, снабжая ее сигнальными знаками и системами, облегчающими ориентацию, поиск нужного направления. На улицах, в общественных местах, в транспортных средствах лестницы дополняются пандусами и лифтами, устраиваются съезды с бордюров, на переходах, в проходах и в местах разветвления маршрутов устраивают специальные указатели для слабовидящих и слепых в виде рельефной разметки и т.п.

В последние десятилетия в архитектуру крупных общественных зданий, к которым относятся и вокзалы, вошло понятие универсального проектирования — создания комплексов по обеспечению доступности и удобства пользования транспортными средствами для всех пассажиров, включая различные категории людей (с ограниченной подвижностью, незрячих, пожилых и др.), а также пассажиров с маленькими детьми.

Известно противоречие, с которым сталкиваются проектировщики вокзалов, особенно крупных пересадочных узлов. С одной стороны, с позиции пассажиров оптималь-

ным является минимизация перемещения, когда необходимо пройти всего несколько шагов от уличного тротуара, остановки общественного транспорта до дверей вагона поезда. С другой стороны, для обслуживания больших пассажиропотоков вокзалы необходимо расширять или разносить в разных уровнях перронные пути с платформами, распределительными залами, устраивать переходы между вестибюлями, остановками общественного транспорта и зонами стоянки автомобилей.

Современный вокзал как пересадочный узел и транспортно-коммерческий центр представляет собой здание или комплекс зданий, имеющий несколько этажей (уровней). Особые трудности возникают при передвижении больших масс пассажиров с одного уровня на другой. Эта задача получает приемлемые решения благодаря сочетанию различных способов вертикального перемещения людей. В непосредственной близости друг от друга располагаются лестницы, дополненные пандусами, эскалаторами и лифтами, на крупных вокзалах используются движущиеся тротуары — пассажирские конвейеры¹ (рис. 19.3, 19.4).

Как показала практика, не только физические препятствия, но и недостаточная информация или избыток ее воспринимаются пассажирами как серьезные затруднения в пользовании вокзалами, аэропортами, пересадочными узлами. Во избежание этого, для облегчения ориентации пассажиров, используют различные компьютеризованные системы оповещения, информационные дисплеи и табло; применяют понятные большинству людей, в том числе и говорящих на разных языках, условные значки-пиктограммы, которыми указывают направление движения или обозначают те или иные объекты, места предоставления услуг, наиболее востребованные пасса-

жирами: «вход», «выход», «лифт», «кассы», «платформы», «туалеты», «камеры хранения» и т.п.

Для удобства пассажиров на платформах устанавливают знаки (в последнее время часто в виде светящихся указателей с меняющейся информацией) о месте остановки конкретного вагона. В Японии и других странах для организации движения потоков пассажиров при посадке и высадке из вагонов применяют специальные обозначения на платформах. Поскольку время стоянки поездов Синкансэн, даже на промежуточных станциях таких крупных городов, как Осака, Киото, Нагоя, крайне мало (не более одной — полутора минут), на платформах перед обозначением места расположения дверей вагонов ярко-желтой краской наносятся стрелки, указывающие направление следования пассажиров к месту посадки в вагон прибывающего поезда.

Особо следует отметить использование аудиовизуальных информационных систем и специальных знаков для слабовидящих пассажиров. Все больше внедряются надписи и обозначения, выполненные яркими контрастными красками — желтой, белой, красной для указания опасной зоны у края платформы, мест ожидания у касс. Контрастная полоса дополняется обустройством рельефных знаков и рельефных направляющих полос на полу: люди с ослабленным зрением или невидящие могут распознать эти указатели «траектории движения» своей тростью или через подошву обуви. Уложенные в покрытие пола рельефные плитки с продольными ребрами образуют направляющую полосу от входных дверей вокзала, на пути к платформам, эскалаторам, кассам. Смена продольных ребер на рельефы точечных выступов указывает на разветвление пути следования маршрута. Сплошная полоса из точечных выступов сигнализирует о подходе к опасной зоне.

Рельефные полосы на полу вокзальных помещений на ряде крупных японских вокзалов дополняются датчиками, реагирующими на магнит, вмонтированный в накопчик трости слепого пассажира. При входе пассажира с такой тростью в указанную

¹ Впервые введены в эксплуатацию еще на рубеже XIX—XX веков, в последнее время называемые треллейтерами или траваллаторами. Движущиеся тротуары перемещают пассажиров по горизонтальной плоскости или с уклоном (спуском либо подъемом) до 2—3°, отдельные сегменты (кары) образуют ровную перемещающуюся поверхность. Протяженность — до 1000 м, скорость движения около 3 км/ч.

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 603 от 24 декабря 2013 г. базового учреждения
ФГАУ «Федеральный институт развития образования»*

Авторы: от авторов, гл. 12—21, приложения — И.П. Киселёв; гл. 20 — Л.С. Блажко; гл. 12, 13, 15, 21 — Ю.П. Бороненко; гл. 14 — А.Т. Бурков; гл. 18 — В.И. Ковалёв; гл. 17 — А.Е. Красковский; гл. 18 — А.Б. Никитин; гл. 16, 21 — Д.В. Пегов; гл. 17 — П.А. Плеханов; гл. 14, 15 — В.М. Саввов; пп. 17.6, 17.7 — С.С. Сергеев; п. 18.1 — В.С. Суходоев; п. 17.5 — А.М. Уздин; гл. 16, 17, 21 — А.В. Ширяев

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. 2. — 372 с.

ISBN 978-5-89035-736-6

Во втором томе учебного пособия рассмотрено понятие высокоскоростного подвижного состава, приведено краткое описание высокоскоростных поездов, используемых в России; освещены особенности управления и обслуживания инфраструктуры и подвижного состава высокоскоростных железных дорог; рассмотрены вопросы обеспечения безопасности движения на высокоскоростных магистралях, подготовка квалифицированного персонала.

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 978-5-89035-736-6 (т. 2)

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

а



б



Рис. 19.3. Организация перемещения пассажиров внутри вокзала: а — Северный вокзал Парижа; б — главный вокзал Берлина: 1 — верхние пассажирские платформы; 2 — пассажирские платформы подземного уровня; 3 — лестницы и эскалаторы; 4 — лифты

зону и воздействию магнита на датчик (например, у ответвления пути на платформу, к лифту или эскалатору), срабатывает автоматическая аудио-информационная система, и из расположенного в данном месте динамика передается сообщение (например, «Выход на десятую платформу»).

19.5. Преобразование вокзалов ВСМ в транспортно-пересадочные и коммерческие комплексы

Усиление конкуренции с авиационным и автомобильным транспортом, необходимость улучшения финансового положения железных дорог вынудили железнодорожные компании промышленно развитых стран осуществлять диверсификацию¹ станций и вокзалов. Она подразумевает расширение спектра услуг, предоставляемых пассажирам и жителям города, создание на базе вокзалов, объединяющих пассажирское железнодорожное хозяйство (билетные и багажные кассы, залы ожидания, буфеты и рестораны) с новыми для вокзалов компонентами (торговыми зонами с большим количеством разнообразных магазинов вместо прежних киосков). В состав транспортно-коммерческих центров стали включать гостиничные комплексы, сменившие прежние комнаты отдыха; офисы банков, туристических агентств и фирм, страховых компаний.

Процесс преобразования железнодорожных вокзалов и транспортно-коммерческих центров начался в 60-е годы XX столетия в Японии при сооружении станций и вокзальных зданий первых ВСМ «Токайдо» и «Санъё» и продолжился при создании других линий Синкансэн.

Первая японская ВСМ «Токайдо Синкансэн» соединила города Токио, Осака и Нагоя с древней столицей Киото. В Токио, Нагое и Киото пути высокоскоростной магистрали были подведены к существующим цен-

тральным вокзалам железных дорог колеи 1067 мм. После капитальной реконструкции этих дорог образовались пересадочные комплексы, включающие платформы новых путей ВСМ с колеей 1435 мм, старые железные дороги узкой колеи, пути метрополитена, трамвайные линии, перроны автобусных вокзалов. Все составляющие этого комплекса объединены системой наземных и подземных переходов с залами ожидания, кассовыми и распределительными вестибюлями.

В Европе концепция превращения существующих старых вокзалов в транспортно-коммерческие и культурные центры, во многом инициированная развитием высокоскоростных железнодорожных сообщений, получила название «Станция назначения» («Destination Station»). По данным исследователей в настоящее время до четверти людей, находящихся в современных транспортно-коммерческих центрах-вокзалах, являются не пассажирами, а посетителями, пришедшими полюбоваться архитектурой, посетить магазины и предприятия питания.

Современный российский архитектор Н.И. Явейн (сын профессора архитектуры И.Г. Явейна) отмечает: «В Европе, да и во всем мире, больше не строят канонических вокзалов «берегового типа». Вокзал превратился в сложный транспортный узел, где происходит пересадка с одних видов транспорта на другие. Причем скорость пересадки ставится во главу угла при проектировании. Есть и более новая тенденция: современные европейские вокзалы прирастают огромными офисными и торговыми центрами. Собственно вокзальные помещения занимают все меньшую долю от общей площади сооружения. Такого рода вокзальные комплексы функционируют в Берлине, Лионе и т.д. Описываемая схема эффективна, когда 99 % поездок имеют продолжительность от 2 до 5 часов»².

В Испании, где ширина колеи общенациональной сети железных дорог и высокоскоростных магистралей различна, на ВСМ

¹ От лат. *diversus* — разный и *facere* — делать, диверсификация, т.е. разностороннее развитие чего-либо (например, транспортно-коммерческих центров).

² Цит. по: Андропова Н. Реконструкция в европейском масштабе // Строительство и городское хозяйство. — 2010. — № 119. — С. 23.

Мадрид — Севилья был реконструирован существующий вокзал Аточа в Мадриде, построено несколько новых вокзалов. Под дебаркадером старого вокзала Аточа, куда раньше прибывали поезда, устроен зал ожидания с оранжереей, ресторанами, кафе, магазинами (рис. 19.4). Пути ВСМ пере-

крыты крышей, на которой размещена автомобильная стоянка.

Важным железнодорожным узлом на международном высокоскоростном маршруте Париж — Брюссель — Кёльн / Амстердам — Лондон является французский город Лилль (рис. 19.5), через который проходят все высо-

а



б



Рис. 19.4. Вокзал Аточа в Мадриде. Испания. 2012 г.: а — зал ожидания (до реконструкции — зал прибытия и отправления поездов) с тревеллейтерами, доставляющими пассажиров на разные уровни вокзала; б — крытые перронные пути для высокоскоростных поездов

коскоростные поезда, курсирующие на этом маршруте — около 120 пар поездов в сутки.

Учитывая значение Лилля в транспортной связи нескольких столиц и крупных финансовых и культурных центров Европы, Евро-

пейский Союз и Международный союз железных дорог уделили особое внимание созданию новой станции в Лилле — важного пересадочного узла и транспортно-коммерческого комплекса (рис. 19.6).



Рис. 19.5. Высокоскоростной железнодорожный узел в г. Лилль, входящий в систему европейских сообщений

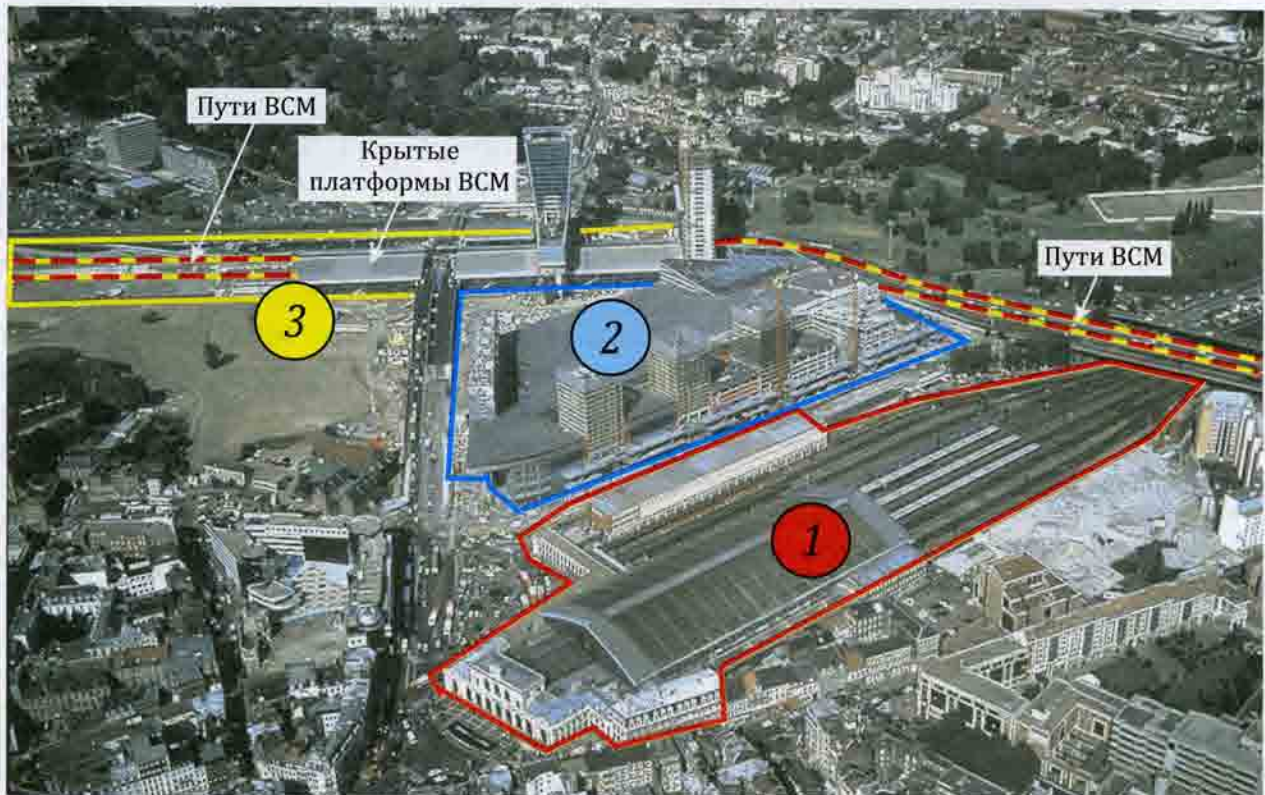


Рис. 19.6. Транспортно-коммерческий комплекс в Лилле: 1 — старый центральный вокзал города «Лилль-Фландрия», куда прибывают и откуда отправляются обычные междугородные и пригородные поезда; 2 — Мировой торговый центр и Дворец конгрессов; 3 — вокзал для высокоскоростных поездов «Лилль-Европа», открытый в 1993 г.



Рис. 19.7. Главный вокзал Берлина: перронные пути верхнего уровня

Собственно вокзал ВСМ в Лилле составляет небольшую часть транспортно-коммерческого комплекса, общая площадь которого равна 120 га. Пути и платформы для высокоскоростных поездов находятся на нижнем (нулевом) уровне комплекса зданий, занимающего целый городской квартал. Здесь, помимо вокзала, размещается несколько зданий бизнес-центра с офисами многих компаний и организаций, например, отделение банка «Лионский кредит». На территории транспортно-коммерческого комплекса расположен Мировой торговый центр и Дворец конгрессов.

Развитие высокоскоростного движения стимулировало создание транспортно-коммерческих центров на базе железнодорожных вокзалов и в других странах Европы. Одним из наиболее значимых проектов пассажирских пересадочных узлов и транспортно-коммерческих центров является воссоздание в центре Берлина станции и вокзала Лертер, разрушенных в ходе боев весной 1945 г. Станции и вокзалу, который теперь носит название Главный вокзал Берлина (или Центральный)¹, по-

строенному по проекту известного немецкого архитектора Майнхарда фон Геркана, отводится ключевая роль в организации высокоскоростного движения в транспортном коридоре Запад — Восток: Берлин — Варшава — Москва. Вокзал был открыт в мае 2006 года за несколько дней до начала Чемпионата мира по футболу (рис. 19.7).

Пространство Главного вокзала Берлина, перекрытое большими застекленными арочными крышами, организовано в трех уровнях: верхний — пути и пассажирские платформы высокоскоростных, региональных поездов и городской железной дороги; средний — уровень дневной поверхности — распределительные залы и переходы; нижний (подземный) — также пути и пассажирские платформы высокоскоростных, региональных поездов и городской железной дороги (рис. 19.3, 19.8, 19.9).

Верхний уровень вокзала поднят на 10 м над дневной поверхностью. Здесь на эстакаде проходят пути высокоскоростной, региональной и городской железных дорог направления Восток — Запад. Средний уровень (на дневной поверхности) предназначен для городского трамвая, автобус-

¹ От нем. Berlin Hauptbahnhof.



Рис. 19.8. На фотографии макета Главного вокзала Берлина в разрезе показаны: 1 — верхний уровень; 2 — средний уровень; 3 — нижний уровень



Рис. 19.9. Высокоскоростной поезд у платформы нижнего уровня Главного вокзала Берлина

ного вокзала, стоянки такси и автомобилей. Нижний уровень находится под землей на глубине 18 м. Здесь проходят пути высокоскоростной, региональной и городской железных дорог направления Север — Юг, а в перспективе — линия метрополитена.

Станция Берлин-Центральный на направлении Восток — Запад рассчитана на проход в сутки более 150 пар поездов, в том числе не менее 40 высокоскоростных. На направлении Север — Юг курсируют более 270 пар поездов, в том числе не менее



Рис. 19.10. Вокзал Сейнт-Панкрас в Лондоне после реконструкции. В центре — новая плоская крыша над пассажирскими платформами. 2011 г.

50 высокоскоростных. Вокзал рассчитан на обслуживание 240 тыс. пассажиров в сутки. Помимо 70 тыс. м² площади, предназначенной непосредственно для обслуживания пассажиров (платформы, распределительные вестибюли, кассовые залы), транспортно-коммерческий центр Главного вокзала имеет коммерческо-торговую зону площадью 400 тыс. м² и офисы общей площадью 42 тыс. м².

В Британской столице одновременно со строительством первой ВСМ, соединившей Западный портал тоннеля под проливом Ла-Манш с Лондоном, была осуществлена реконструкция вокзала Сейнт-Панкрас. С ноября 2007 г. на нем осуществляется обслуживание пассажиров пригородных, региональных и высокоскоростных поездов.

Опираясь на принципы европейской концепции реконструкции старых вокзалов «Станция назначения», в ходе перестройки вокзала Сейнт-Панкрас была принята идея развития станции и вокзала не толь-

ко как железнодорожного терминала, но и как объекта национального значения, привлекающего внимание жителей города и его гостей своей архитектурой, а также как торговый центр. В ходе реконструкции были удлинены приемо-отправочные пути, выведенные за пределы старого дебаркадера и перекрытые новым навесом (рис. 19.10, 19.11). На вокзале Сейнт-Панкрас действуют более 50 предприятий торговли и пунктов питания. Около 20 из них размещены в зоне «Аркада» (Arcade) под платформами для высокоскоростных поездов сообщений «Eurostar», в историческом дебаркадере¹.

В КНР в ходе осуществления программы создания высокоскоростной железнодорожной сети в разных городах страны были реконструированы, расширены или вновь построены несколько десятков вокзалов и

¹ Односводчатое покрытие дебаркадера, построенное в 60-х годах XIX в. инженером У. Барлоу (W. Barlow), имеющее длину 213 м, пролет 74 м и высоту 30 м, было в свое время самым большим в мире.



Рис. 19.11. Высокоскоростной поезд «Eurostar» у платформы вокзала Сейнт-Панкрас. 2011 г.

транспортно-коммерческих комплексов, рассчитанных на обслуживание десятков тысяч пассажиров в сутки. Одним из самых больших из них является введенный в эксплуатацию в 2008 г. новый Южный вокзал в Пекине — второй по величине вокзал в Азии (рис. 19.12). Вокзал обслуживает высокоскоростные поезда, обращающиеся по вновь построенным ВСМ Пекин — Тяньцзинь (117 км) и Пекин — Шанхай (1318 км).

Станция Пекин-Южный имеет 24 приемо-отправочных пути с 13 пассажирскими платформами и занимает площадь 940 тыс. м². Общая площадь помещений вокзала 226 тыс. м². Вокзал рассчитан на одновременное обслуживание 10,5 тыс. пассажиров. Здание вокзала перекрыто овальной крышей общей площадью остекления около 30 тыс. м². На крыше расположены 3246 панелей солнечных батарей, которые значительно пополняют баланс потребляемой вокзалом электрической энергии. Южный вокзал имеет пять этажей (рис. 19.13, 19.14). Пассажиры, прибывающие на автобусах и легковых автомобилях, оказываются на самом верхнем уровне вокзала и, пройдя через пункты досмотра (металлоискатели с

рамками и контрольные аппараты для инспекции багажа), попадают в распределительный зал и залы ожидания. Подъездные пути для автомобилей соединяют кольцевую эстакаду, опоясывающую здание вокзала, с городскими скоростными автомобильными дорогами. По обеим сторонам вокзала над путями устроены стоянки для автомобилей.

Через пункты проверки билетов пассажиры из верхнего распределительного зала эскалаторами и лифтами доставляются непосредственно на платформы отправления поездов на нижний уровень. Пассажиры могут также воспользоваться различными кафе, залами ожидания, билетными кассами и т.п., находящимися на втором и третьем уровнях.

В настоящее время пассажиры, прибывающие на вокзал поездами городского метрополитена, проходят в здание вокзала по соединительным пешеходным переходам, но на 4 уровне ведется строительство двух новых станций метрополитена, и после его завершения поезда метро будут доставлять пассажиров непосредственно в здание вокзала.



Рис. 19.12. Общий вид станции Пекин-Южный. На заднем плане — здание вокзала; внизу справа — вагонные тракционные пути для отстоя высокоскоростных поездов

Пассажиры, прибывающие в Пекин на высокоскоростных поездах, непосредственно с пассажирских платформ поднимаются на эскалаторах и лифтах в центральный распределительный зал и выходят на привокзальную площадь к стоянкам такси и остановкам автобусов. После завершения строительства новых станций метрополитена прибывающие пассажиры будут иметь возможность попасть на них непосредственно с платформ прибытия.

В последние десятилетия в связи с ростом подвижности населения промышленно-развитых стран, возникновением крупных транспортно-пересадочных и коммерческих центров, созданием совмещенных крупных аэропортов-железнодорожных станций (будут рассмотрены в следующем параграфе) стало употребляться, причем уже не только в специальной литературе, понятие «хаб»¹,

¹ От англ.: hub, буквально — ступица колеса, центр, в общем смысле, узел какой-либо сети.



Рис. 19.13. Ситуационный план района станции Пекин-Южный. На плане синими и красными линиями показаны пути городского метрополитена



Рис. 19.14. На разрезе макета Южного вокзала показаны: 1 — верхний распределительный зал; 2 — залы ожидания, буфеты, кассовые и другие залы и помещения для обслуживания отъезжающих пассажиров; 3 — центральный распределительный зал и залы прибытия пассажиров; 4 — уровень станций городского метрополитена (в процессе строительства); 5 — уровень пассажирских платформ высокоскоростных поездов

под которым понимается очень крупный транспортно-пересадочный и коммерческий узел.

Выдвинута идея создания первого московского хаба, который может объединить три железнодорожных вокзала на Комсомольской площади столицы (Ленинградский, Ярославский, Казанский) и станцию Каланчевская. В перспективе сюда возможно придут ВСМ нескольких направлений, а местные скоростные электропоезда свяжут будущий хаб с московскими аэропортами Внуково, Домодедово и Шереметьево.

19.6. Объединение вокзалов ВСМ и аэропортов в процессе создания высокоскоростной транспортной сети

Перспектива объединения железнодорожных вокзалов в процессе развития транспортных коммуникаций с пересадочными узлами различных видов городского и международного транспорта была обозначена архитекторами еще в 30-х годах XX в. Так, профессор И.Г. Явейн отмечал: «...современный вокзал, особенно вокзал в крупном городе, уже перестает быть пунктом, где заканчивается поездка пассажира, и представляет собой в основном сооружение, к которому с одной стороны подходит междугородный транспорт, а с другой — местный или городской и где происходит пересадка пассажиров и перегрузка багажа с одного вида транспорта на другой. Такой вокзал, имеющий перроны для разнообразных видов транспорта, перестает быть чисто железнодорожным вокзалом и становится отчасти также вокзалом и автомобильным, автобусным, трамвайным...». И далее: «...появляются комплексные вокзалы, к которым сходятся несколько различных видов транспорта... Морские и речные вокзалы, к которым подведены железнодорожные линии, служат одним из типов таких комбинированных вокзалов для дальнего

движения»¹. Развитием этих комбинированных вокзалов в конце XX в. стало создание аэропортов, совмещенных с железнодорожными станциями, в том числе и на ВСМ.

В начале 90-х годов XX столетия при разработке перспективного плана развития высокоскоростной транспортной сети Европы была обоснована концепция создания объединенных станций ВСМ и аэропортов — хабов, в качестве пересадочных узлов, стыкующих пассажиропотоки авиационного и высокоскоростного сухопутного транспорта. Всего в Европе намечено создать около 30 железнодорожных станций, совмещенных с аэропортами.

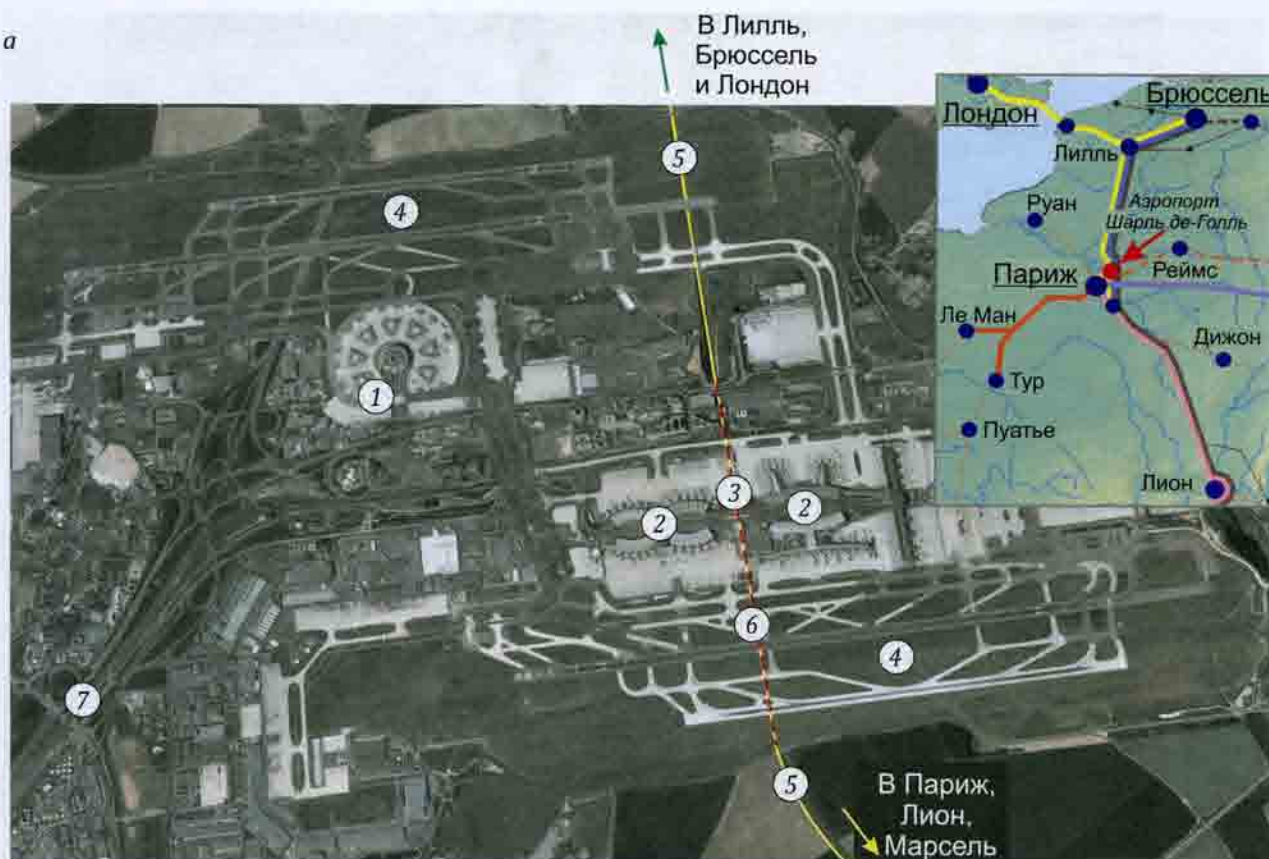
Наличие подобных пересадочных комплексов «Аэропорт — станция ВСМ» позволяет организовать оптимальные высокоскоростные маршруты следования пассажиров с использованием на одних участках самолетов, на других — высокоскоростных поездов. В качестве примера можно привести станцию ВСМ и железнодорожный вокзал, совмещенные с терминалами аэропорта Шарль де Голль (используется также название Руасси — Шарль де Голль) вблизи Парижа² (рис. 19.15, а). Второй терминал аэропорта и железнодорожную станцию для высокоскоростных поездов и скоростного местного (регионального) экспресса построили как единый пересадочный транспортно-коммерческий центр.

На станции аэропорта Шарль де Голль имеются два пути ВСМ для поездов, следующих безостановочно через станцию, четыре приемо-отправочных пути ВСМ с платформами длиной 500 м и два пути с платформами протяженностью по 250 м для региональных экспрессов (рис. 19.15, б; 19.16). Все железнодорожные пути и платформы перекрыты металлической застекленной крышей общей площадью около 22 000 м².

¹ Явейн И.Г. Архитектура железнодорожных вокзалов. — М.: Изд. Всесоюз. акад. архитектуры, 1938. — С. 288, 291.

² Аэропорт «Шарль де Голль», через который за год проходит более 56 млн пассажиров, входит в десятку крупнейших в мире.

а



б

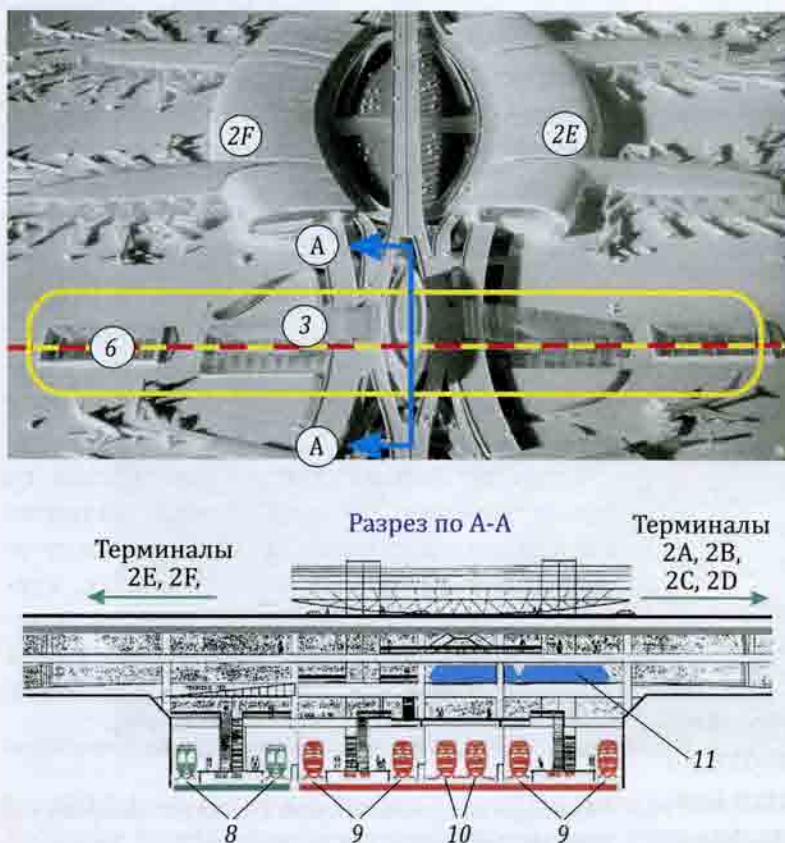


Рис. 19.15. Аэропорт Руасси — Шарль де Голль, Париж, совмещенный с железнодорожной станцией: а — общий вид аэропорта (на схеме в углу показано место аэропорта и железнодорожной станции в системе европейских высокоскоростных железнодорожных магистралей); б — фотография макета второго терминала и железнодорожной станции: 1, 2 — терминалы аэропорта; 3 — подземная станция высокоскоростных и региональных поездов; 4 — взлетно-посадочные полосы и рулежные дорожки аэродрома; 5 — железнодорожные пути на поверхности; 6 — железнодорожные пути в тоннеле под аэропортом; 7 — автомобильное шоссе, соединяющее аэропорт с Парижем; 8 — пути региональной скоростной железной дороги (RER); 9 — приемо-отправочные пути TGV; 10 — пути для безостановочного прохода поездов TGV; 11 — поезд монорельсовой дороги, соединяющей терминалы аэропорта



Рис. 19.16. Пассажирская платформа высокоскоростных поездов на железнодорожной станции Аэропорт Шарль де Голль

В Германии при организации высокоскоростных железнодорожных сообщений были реконструированы несколько существующих и построены новые вокзальные комплексы, часть из них объединены с аэропортами. К наиболее заметным проектам следует отнести сооружение двух железнодорожно-авиационных терминалов: Франкфурт-на-Майне и Кёльн/Бонн.

Новая железнодорожная станция ВСМ в международном аэропорту Франкфурт-на-Майне (введена в эксплуатацию в 1999 г.) входит в состав высокоскоростной линии Кёльн — Рейн/Майн. Вокзал этой линии интегрирован с комплексом зданий международного аэропорта и представляет собой единый транспортный узел, к которому также примыкают автострады, расходящиеся в четырех направлениях от аэропорта и железнодорожного вокзала. В Европе на ближайшие десятилетия планируется реализация около 30 проектов совмещенных

станций ВСМ и аэропортов, расположение которых показано на рис. 19.17.

Самая большая в мире совмещенная железнодорожная станция-аэропорт — хаб Хунцяо («The Hongqiao hub») была введена в строй в 2010 г. в КНР. Этот хаб (рис. 19.18) включает реконструированную железнодорожную станцию Шанхай Хунцяо¹, Второй терминал шанхайского международного аэропорта Хунцяо², автобусный вокзал, станции линий городского метрополитена № 2 и № 10.

Станция Шанхай Хунцяо рассчитана на пропуск около 200 пар поездов дальнего следования в сутки — обычных междугородных, а также высокоскоростных, курсирующих по ВСМ Шанхай — Нанкин, Шанхай — Ханджоу и открытой в 2011 г. самой протяженной в мире ВСМ Пекин — Шанхай.

¹ Самая большая в Азии пассажирская железнодорожная станция.

² Аэропорт обслуживает около 22 млн пассажиров в год и является четвертым по величине в КНР.



Рис. 19.17. Крупнейшие авиационные транспортные центры Европы, включающие один или несколько аэропортов и действующие совмещенные аэропорты — железнодорожные станции ВСМ (обозначены синим контуром). Диаметр круга, обозначающего аэропорт, примерно пропорционален объему перевозок. Для ориентации: объем перевозок аэропорта Франкфурт-на-Майне равен примерно 50 млн пассажиров в год



Рис. 19.18. Шанхайский хаб Хунцяо: 1 — здание вокзала железнодорожной станции; 2 — крытые пассажирские платформы; 3 — приемо-отправочные пути высокоскоростных поездов; 4 — терминал аэропорта; 5 — летное поле аэропорта

а



б



Рис. 19.19. Железнодорожный вокзал Шанхай Хунцяо: а — зал ожидания; б — пассажирские платформы

Главное здание вокзала железнодорожной станции Хунцяо имеет размеры: 420 м в длину, 200 м в ширину и высоту 70 м; рассчитано на единовременное обслуживание

10 тыс. пассажиров (рис. 19.19). Значительную часть электроэнергии, необходимой для функционирования вокзала получают от 20 тыс. панелей солнечных батарей об-

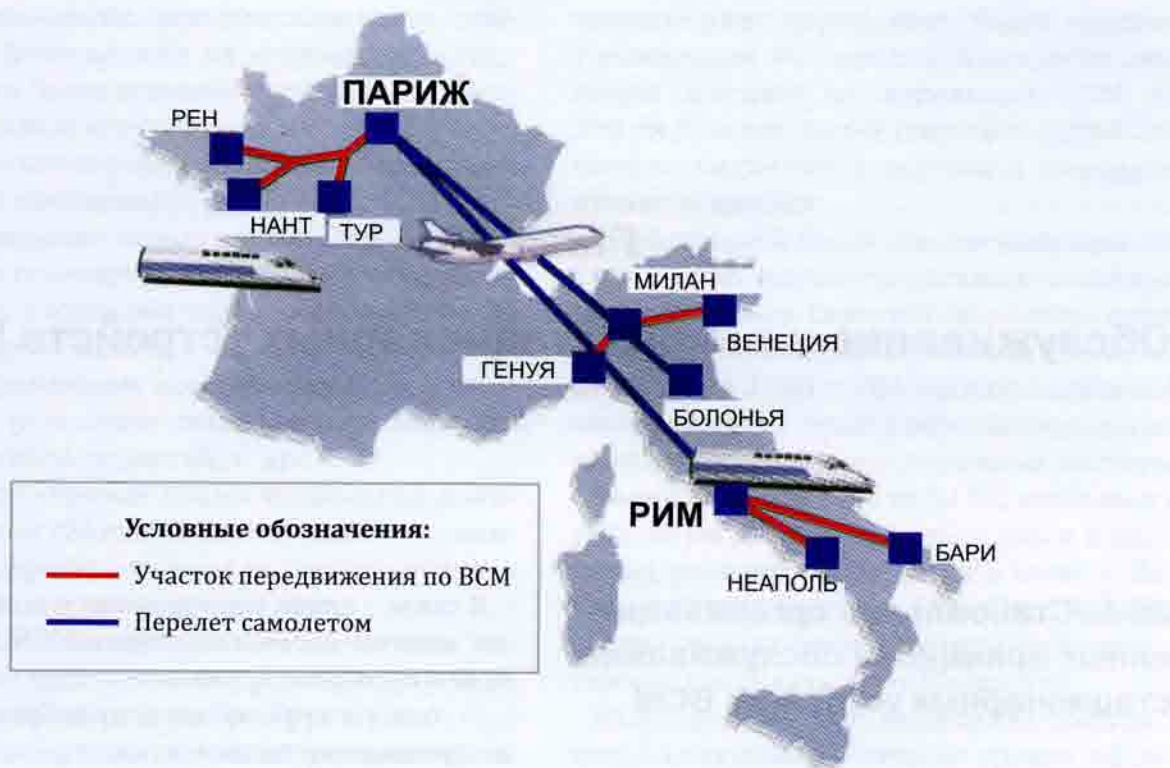


Рис. 19.20. Совмещенные маршруты «поезд ВСМ — самолет» на ряде европейских направлений

щей площадью около 60 тыс. м², расположенных на крыше вокзала.

Создание совмещенных железнодорожных станций высокоскоростных магистралей и аэропортов является важной тенденцией развития пассажирских сообщений в мире, способствует возникновению синергетического¹ эффекта взаимодействия железнодорожного и воздушного транспорта, тем самым значительно улучшает обслуживание пассажиров, повышает безопасность (в том числе экологическую), итоговую скорость перевозок, экономичность и комфорт. Ряд авиационных компаний и железнодорожных операторов перешли от

конкурентного соперничества за пассажира к взаимодействию. В Европейских странах, КНР, Японии используются десятки совмещенных маршрутов «высокоскоростной поезд — самолет», которые дают пассажиру существенную экономию времени, средств и обеспечивают большую частоту отправок в сутки. На рис. 19.20 приведен пример совмещенных маршрутов между городами Нант, Тур, Рен (Франция) и Рим, Милан, Генуя, Венеция, Бари, Неаполь (Италия), на которых часть пути, по согласованному расписанию поездов ВСМ и самолетов, преодолевается по высокоскоростным магистральям, а часть — по воздуху.

¹ Синергия (от греч.: synergos — вместе действующий) — суммирующий эффект взаимодействия двух или более факторов, характеризующийся тем, что их действие существенно превосходит эффект каждого отдельного компонента в виде их простой суммы.

Глава 20

Обслуживание и ремонт стационарных устройств ВСМ

20.1. Становление организационных принципов обслуживания стационарных устройств ВСМ

Организационные принципы обслуживания стационарных устройств ВСМ складывались на протяжении четырех десятилетий с вводом в строй первой в мире высокоскоростной магистрали Токио — Осака в Японии, затем с созданием ВСМ во Франции, Италии, Германии и других странах и базировались на предыдущем опыте эксплуатации магистральных железных дорог.

В последние десятилетия в Европе и в целом в мире произошел ряд важных изменений на железных дорогах и в их окружении, связанных с развитием высокоскоростных железнодорожных перевозок, в том числе в Европе — международных, и рядом других факторов, в частности:

- реорганизацией железнодорожного транспорта во многих странах — приватизацией и либерализацией, допуском на железнодорожную инфраструктуру многих операторов;

- применением новых технологий в различных подструктурах железнодорожного транспорта, принятием международных норм и правил;

- новыми формами организации строительства, эксплуатации и обслуживания железных дорог на основе контрактных отношений.

В связи с этими изменениями и возникшими новыми обстоятельствами МСЖД обобщил и проанализировал:

- опыт в этой области, приобретенный за прошедшие десятилетия;

- наиболее существенные нововведения, касающиеся железнодорожной инфраструктуры;

- изменения в различных подструктурах;

- опыт взаимодействия между операторами подвижного состава и владельцами (управляющими компаниями) железнодорожной инфраструктуры;

- наиболее значимые результаты в данной области за пределами Европы.

Результаты анализа сформулированы в докладе «Обслуживание высокоскоростных железнодорожных линий», опубликованном Международным союзом железных дорог в июле 2010 г. В нем отмечено, что в настоящее время при организации обслуживания устройств ВСМ в Европе необходимо учитывать два важных обстоятельства: новые технологии, которые были внедрены на железных дорогах в последние десятилетия, и опыт стран Азии, имеющих ВСМ, с которыми развивается все более тесное сотрудничество.

Наиболее существенными железнодорожными технологиями, внедренными в последние десятилетия, являются:

- технологии, обеспечивающие большую безопасность труда на железных дорогах;

- технологии, определяющие новые стандарты безопасности на железных дорогах;
- все более широкое использование безбалластных конструкций пути;
- использование рельсовых скреплений нового поколения;
- введение новых систем СЦБ, основанных на стандартах ERTMS-ETCS, поддерживаемых системами связи, основанными на стандартах GSM-R;
- применение новых материалов, в частности, рельсовых стальных, материалов для контактной подвески, и др.;
- применение новых технологий высокоточной геодезической привязки элементов инфраструктуры для планирования и контроля производства работ;
- использование нового поколения машин для обслуживания различных устройств железнодорожной инфраструктуры;
- использование высокочувствительных приборов неразрушающего контроля для анализа состояния устройств и оборудования ВСМ, и, в конечном итоге, уменьшения времени их неработоспособности, и др.

Большинство ВСМ, введенных в эксплуатацию до начала XXI столетия, были специализированными линиями, предназначенными исключительно для пассажирского движения.

С увеличением числа ВСМ и ростом на них объемов перевозок, в странах, имеющих высокоскоростное железнодорожное движение, сформировалось три типа железнодорожных линий:

- линии для пассажирского движения с различным типом поездов;
- линии со смешанным движением высокоскоростных пассажирских и грузовых (почтовых) поездов;
- линии со смешанным пассажирским и грузовым движением с большой разницей в максимальной скорости.

В организации работ по обслуживанию устройств, при смешанном и исключительно пассажирском движении, имеются свои особенности.

Изменения в организации, технике и технологии обслуживания устройств ВСМ в последнее десятилетие, в частности ужес-

точение ряда нормативов, было вызвано увеличением максимальной скорости движения поездов на отдельных ВСМ до 350 км/ч и все более широким использованием подвижного состава с наклоном кузова в кривых.

Нормативной базой для организации обслуживания высокоскоростных железных дорог в странах Европейского Союза является Директива (закон) Совета 96/48/ЕС от 23 июля 1996 г. «Об эксплуатационной совместимости трансъевропейских высокоскоростных железнодорожных систем», а также последующие акты ЕС, вносящие в указанную Директиву изменения и дополнения, рассмотренные ранее в главе 5. Вне Европейского Союза: в КНР, США, Японии, других странах также приняты свои нормативные документы в этой области.

МСЖД рекомендует придерживаться системы, включающей четыре уровня обслуживания ВСМ.

Уровень 1: обслуживание или ремонт на месте штатными сотрудниками компании владельца инфраструктуры (управляющей инфраструктурой), отвечающими за данный территориальный участок (без привлечения сотрудников компании-поставщика оборудования); может быть выполнено без перерыва движения или с минимальным перерывом.

Уровень 2: привлечение специализированных бригад по обслуживанию технических устройств, машин, контрольных приборов базы обслуживания; зарезервированных запасных частей и сменного оборудования. Для проведения работ, как правило, необходимы «окна» (перерыв в движении поездов).

Уровень 3: необходимость привлечения специалистов организации-поставщика оборудования, контроль и ремонт завершается на его предприятии (заводе); если возможно, применение стандартной замены элементов. Для проведения работ, как правило, необходимы «окна».

Уровень 4: обширная замена и ремонтные работы по возобновлению работоспособного состояния устройств и оборудования. Обязательное предоставление «окон».

В странах Европейского Союза принят методологический подход к проектированию, строительству и эксплуатации ВСМ, получивший в англоязычной литературе наименование RAMS¹. В соответствии с указанным принципом еще на стадии проектирования ВСМ должны быть заложены и подтверждены все четыре указанных принципа будущей эксплуатации и обслуживания всех устройств ВСМ.

До недавнего времени важнейшим отправным пунктом организации обслуживания железных дорог являлось обязательное полное (100 %) профилактическое обслуживание всех стационарных устройств, независимо от их фактического состояния (осмотр, ревизия, чистка, регулировка, обязательная полная замена деталей, паспортный срок эксплуатации которых вышел, и т.д.).

В настоящее время все больше отходят от этой практики в силу ее высокой стоимости, потребности в большой численности обслуживающего персонала; продолжительном занятии железнодорожных линий с перерывом движения поездов, невозможности добиться требуемого уровня технического состояния устройств (100 %).

Активно внедряется метод обслуживания, базирующийся на информации о фактическом техническом состоянии устройств, приборов, оборудования — СВМ².

Организации, обслуживающие железнодорожные устройства, делают свой выбор между двумя возможными направлениями развития:

- инвестиции в диагностические комплексы и аппаратуру, обеспечивающие высококачественную информацию о состоянии объектов;

- необходимость увеличения обслуживающего персонала с риском того, что требуемый уровень состояния устройств и оборудования так и не будет достигнут.

¹ От англ.: reliability, availability, maintainability, safety — надежность, доступность, ремонтпригодность, безопасность.

² От англ.: — обслуживание, базирующееся на состоянии condition-based maintenance.

Исходя из вышесказанного, начнем рассмотрение системы технического обслуживания ВСМ с изучения практики организации контроля и проверки состояния стационарных устройств.

20.2. Проверка состояния стационарных устройств ВСМ

Безопасная эксплуатация высокоскоростных железнодорожных магистралей (скорость движения поездов более 200 км/ч) базируется на безусловном выполнении всех технических решений, заложенных в проекте в процессе ее строительства, и на строгом контроле соблюдения всех проектных параметров и технических характеристик во время эксплуатации.

Уже на первых железных дорогах начали формироваться методики и создаваться нормативная база проверки состояния параметров железнодорожного пути, искусственных сооружений, позже — устройств сигнализации, централизации, автоматизации, телемеханики и связи; еще позже, по мере электрификации железных дорог, — устройств электроснабжения, контактной сети. По мере развития технической базы железных дорог, наряду с визуальным контролем шло становление приборных методов оценки состояния устройств с помощью специального оборудования.

Первоначально перечень постоянно контролируемых параметров был невелик: к ним относили ширину рельсовой колеи, расстояние между осями смежных путей, габарит приближения строений и подвижного состава, ширину земляного полотна и некоторые другие. На первых железных дорогах ширина колеи проверялась обычной мерной линейкой или простейшим шаблоном в виде деревянной рейки с прикрепленными к ней лапками, отстоящими одна от другой на ширину колеи. К середине XIX в. появились более точные металлические шаблоны для измерения ширины колеи, габаритные рамы, как стационарные,

так и передвижные, для проверки участков пути, профилографы (профилометры) для оценки износа головки рельса.

В конце XIX в. были изобретены первые передвижные устройства в виде тележек, предназначенные для измерения и фиксирования на бумажной ленте ряда параметров рельсовой колеи: ее ширины, возвышения наружного рельса, уклонов пути. Так, в 1887 г. русский инженер И.Н. Ливчак предложил конструкцию путеизмерительного вагона, который должен был фиксировать ряд параметров рельсового пути на бумажной ленте. По некоторым сведениям в 1914 г. в России был построен первый путеизмерительный вагон системы инженера Н.Е. Долгова, представлявший собой двухосный экипаж на железнодорожных колесах, предназначенный для проведения измерений в движении на небольшой скорости.

Повышение скорости движения поездов предъявляло все более жесткие требования к соблюдению геометрических размеров и других параметров пути. Знаменитые Цоссенские эксперименты в Германии (1897—1903 гг.), во время которых проводились испытания электрического подвижного состава со скоростью движения около 200 км/ч, показали, сколь высоки при подобной скорости требования к точности соблюдения ширины колеи, положению в плане и профиль рельсовых нитей. Вопрос точности измерений геометрических размеров и положения отдельных элементов пути относительно друг друга становился одним из важнейших во всей системе эксплуатации и обслуживания устройств пути. Устройства и системы объективного контроля состояний пути, позже других стационарных устройств (например, контактной сети на электрифицированных участках), становились не менее важными элементами всего комплекса обслуживания, чем путевые машины и другая техника, непосредственно используемая при ремонте и обслуживании. От качества проведенных измерений, объективной оценки состояния стационарных устройств стали все больше зависеть не только объем вы-

полняемых работ, затрат на их проведение, но и безопасность движения, комфорт проезда пассажиров.

К 60-м годам XX столетия — появлению в мире первых специализированных высокоскоростных железных дорог, сформировались несколько основных направлений работ по периодическому контролю состояния постоянных устройств железных дорог, которые первоначально, как правило, осуществлялись различными структурными подразделениями или службами железных дорог с помощью обособленного приборно-инструментального оборудования и технических средств, при этом определялись и измерялись:

- геометрические параметры положения рельсового пути в пространстве, ширина колеи, уклоны, возвышение наружного рельса, соблюдение габарита приближения строений;

- упругая осадка рельсовых нитей под подвижным составом для оценки состояния земляного полотна, геометрических размеров балластной призмы;

- дефекты рельсов;

- геометрические параметры контактной сети на электрифицированных участках, пространственное положение контактного провода, уровень его натяжения и электрического напряжения на нем на конкретных участках линии;

- параметры, работоспособность устройств СЦБ (прежде всего рельсовых цепей), устойчивость, качество радиосвязи.

Поистине революционные изменения во всей системе инструментальной проверки состояния и измерения параметров стационарных устройств произошли после создания первых ВСМ в Японии и Франции.

В Японии с началом эксплуатации первой ВСМ Токио — Осака для инструментальной оценки состояния указанных параметров первоначально использовались отдельные измерительные вагоны с тепловозной тягой¹. Следуя в этих вагонах, которые передвигались со скоростью до 160 км/ч, регу-

¹ Вагоны серий 921-1 и 921-2, первый был построен в 1962 г.



Рис. 20.1. Семивагонный инспекционный поезд серии 922-10, состав Т2

лярно (каждые десять дней) специалисты обследовали всю ВСМ от Токио до Осаки, осуществляли контроль состояния пути и других устройств, за исключением полной инспекции состояния земляного полотна. Ее проводили с помощью специальных на-грузочных вагонов. Контроль состояния земляного полотна в процессе повседневных регулярных периодических проверок осуществлялся по вторичным признакам: геометрическому положению рельсовых нитей в плане и по их уровню.

С ростом пассажиропотока, а, следовательно, и количества поездов, находящихся в обращении, с увеличением скорости и интенсивности движения поездов на первой японской ВСМ Токио — Осака для проведения работ по контролю состояния пути, систем электроснабжения и других устройств в эксплуатацию был введен специальный высокоскоростной четырехвагонный инспекционно-измерительный поезд (далее будем именовать его *инспекционный*). Поезд был оснащен измерительной и контрольной аппаратурой на базе имевшегося в распоряжении Японских национальных железных дорог опытного поезда серии

1000 (состав В), построенного в 1961 г.¹

Первый японский высокоскоростной инспекционный поезд получил обозначение 922-0 (состав Т1). Вагоны этого поезда, также как и их предшественники — измерительные вагоны, были окрашены в желтый цвет, что отличало их от пассажирских вагонов поездов серии 0 (они имели цвет слоновой кости)². Инспекционный поезд 922-0 находился в эксплуатации до 1976 г. В 1974 г. для Центральной японской железнодорожной компании был построен новый семивагонный инспекционный поезд (рис. 20.1), получивший обозначение 922-10 (состав Т2), а в 1979 г. для Западной японской железнодорожной компании был изготовлен семивагонный поезд, обозначен-

¹ Поезда серии 1000 — составы А (двухвагонный) и В (четырехвагонный) были построены в процессе создания первого японского высокоскоростного поезда — серия 0 (ноль). Поезда серии 1000 также использовались при испытании опытных участков будущей магистральной линии Токио — Осака в процессе ее строительства.

² Вскоре инспекционный поезд из-за своей окраски получил у железнодорожников прозвище «Доктор желтый» (англ.: Doctor Yellow), наименование закрепилось позже как официальное.

ный 922-20 (состав ТЗ). Вагоны этих поездов были построены на основе конструкции вагонов высокоскоростного поезда серии 0.

На всех указанных поездах осуществляли диагностику стационарных устройств ВСМ с помощью размещенной в вагонах поездов аппаратуры, которая позволяла измерять отклонения от геометрических параметров пути, величины ускорений, вибраций, возникающие на скорости эксплуатации поездов по расписанию — 210 км/ч. Вся линия обследовалась один раз в 10 дней, данные записывались на магнитную ленту. На основе полученной информации с помощью ЭВМ производилась оценка состояния пути, подготавливались задания на производство работ ремонтными бригадами.

В 1982 г. было завершено строительство ВСМ Токио — Мориока («Тохоку Синкансэн») — первой высокоскоростной магист-

рали Восточной японской железнодорожной компании. Для проведения контрольно-инспекционных поездок по этой магистрали, а позже и по ВСМ «Дзёэцу» и «Хокурику», на базе вагонов пассажирских высокоскоростных поездов серии 200 (которые эксплуатировались на этих линиях) построены семивагонные инспекционные поезда, получившие обозначения: 925/0, состав S1 (1979 г.) и 925/10, состав S2 (1982 г.).

В 2000 г. для Центральной японской железнодорожной компании — инспекции линий ВСМ «Токайдо» и «Санъё» (последняя входит в состав Западной японской железнодорожной компании) — на базе нового высокоскоростного электропоезда серии 700 создан диагностический семивагонный поезд нового поколения (рис. 20.2), получивший обозначение 923, состав Т4 («Doctor Yellow-923»).

а

Измерительный токоприемник

Смотровые фонари (блистеры)



Измерительные тележки

б



Рис. 20.2. Инспекционный поезд «Doctor Yellow-923» Центральной японской железнодорожной компании, созданный на базе поезда серии 700: а — компоновочная схема; б — общий вид

Эта машина, пришедшая на смену первому поколению инспекционных поездов, может проводить полный комплекс диагностических работ и измерений, двигаясь на скорости 270 км/ч в графике пассажирских поездов. При формировании контрольно-измерительного оборудования поезда конструкторы отказались от механических и электромагнитных приборов. Используются, в основном, лазерные технологии, в частности, для контроля состояния контактной подвески, которая в процессе измерения сканируется лазерным лучом с частотой 1500 импульсов в секунду (см. рис. 20.31).

Результаты измерений параметров пути, обследования контактной сети, устройств автоматики, телемеханики и связи обрабатываются компьютерами бортового вычислительного комплекса в реальном масштабе времени непосредственно в процессе инспекционной поездки, после ее завершения незамедлительно передаются в центр управления. В 2005 г. такой же поезд (923, состав Т5) был приобретен Западной японской железнодорожной компанией для обследования ВСМ «Санъё».

Необходимо отметить, что на японских ВСМ, наряду с периодическим сбором информации о состоянии пути специальными контрольно-измерительными поездами, ведется регулярный контроль состояния пути с помощью приборов, измеряющих и записывающих данные об ускорениях (вертикальных и горизонтальных), возникающих на уровне буксовых узлов первых колесных пар головных вагонов, а также на уровне пола пассажирских салонов головных вагонов. Для этого измерительная и записывающая аппаратура смонтирована на нескольких десятках составах высокоскоростных поездов, находящихся в регулярной эксплуатации. Таким образом, с периодичностью в несколько часов ведется контроль и запись данных о состоянии каждого участка ВСМ. После возвращения поездов с указанной аппаратурой в депо полученная информация для последующего анализа поступает в компьютеры Центрального диспетчерского центра соответствующей железнодорожной компании. Поскольку за сутки на

каждым участке пути с помощью указанной аппаратуры фиксируется несколько показаний, записанных в разное время разными поездами, определяется, являются ли зафиксированные где-либо повышенные величины ускорений или вибраций следствием отклонения в параметрах пути или признаком возникшей неисправности ходовой части подвижного состава.

На японских ВСМ действует правило, согласно которому машинист поезда незамедлительно сообщает диспетчеру о любом случае внезапного сильного толчка, удара, вибраций, возникших в процессе движения. В некоторых случаях инструкция предписывает машинисту осуществить экстренное торможение. Установленная на поездах аппаратура, фиксирующая ускорения (описанная ранее), постоянно следит за их величинами. При превышении в какой-то точке пути допустимых значений подается сигнал об этом на пульт управления поездом, машинист сообщает об этом диспетчеру, который, оценив обстановку, может остановить движение по данному участку до проведения дополнительной проверки.

Одной из новейших японских разработок в области специального подвижного состава, предназначенного для проведения инструментальных проверок состояния пути; систем электроснабжения; автоматики, телемеханики и связи, является высокоскоростной инспекционный электропоезд E926 «East i»¹ (рис. 20.3), созданный в 2002 г. Восточной японской железнодорожной компанией для мониторинга стационарных устройств на ВСМ «Тохоку», «Дзёэцу», «Хокурику Синкансэн»; «Ямагата» и «Акита Мини-Синкансэн».

При проектировании за основу были взяты вагоны высокоскоростного поезда серии E3, которые имеют меньший габарит, чем вагоны обычных поездов Синкансэн. Это позволяет эксплуатировать инспекционный поезд E926 как на линиях Синкансэн, так и на линиях Мини-Синкансэн. Состав состоит из пяти моторных и одного

¹ От англ.: east — восток, i — inspection — инспекция. В названии поезда отражена принадлежность к Восточной компании.

а



б

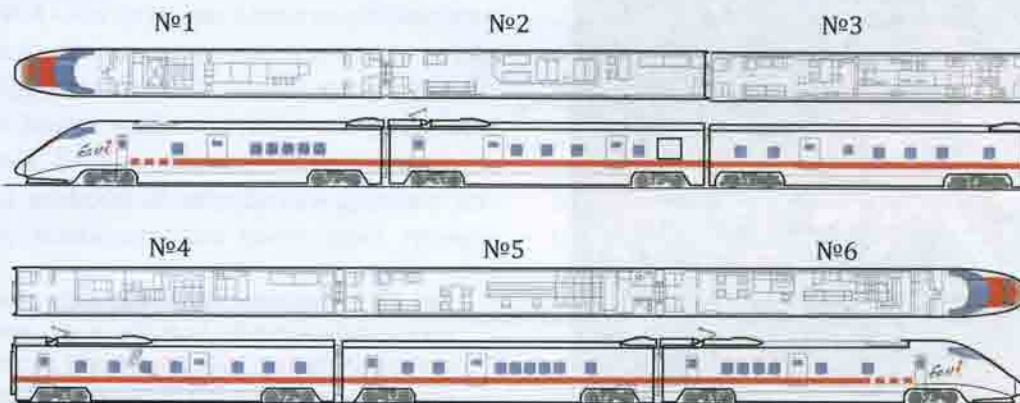


Рис. 20.3. Инспекционный поезд E926 «EAST i»: а — общий вид; б — схема формирования поезда (отмечены номера вагонов)

прицепного вагона, расположенного в середине (рис. 20.4). Максимальная скорость движения инспекционного поезда такая же как и пассажирских поездов,двигающихся по расписанию на линиях Синкансэн и Мини-Синкансэн, — соответственно, 275 и 130 км/ч.

Поезд E926 рассчитан на три системы питания переменным электрическим током: на линиях Синкансэн — напряжением 25 кВ частотой 60 или 50 Гц; на линиях Мини-Синкансэн — от сети переменного тока напряжением 20 кВ, частотой 50 Гц. В

вагонах поезда размещено оборудование, позволяющее проводить на максимальной скорости измерение различных геометрических параметров пути, включая отклонение положения рельсовых нитей в плане и по высоте; измерять величину прокладки пути, состояние (профиль) головки рельса; вертикальных и горизонтальных ускорений на уровне буксы колесной пары (рис. 20.5); измерение уровня шума, производимого при качении колес по рельсам, величина и спектральный анализ которого позволяют также выявить различные

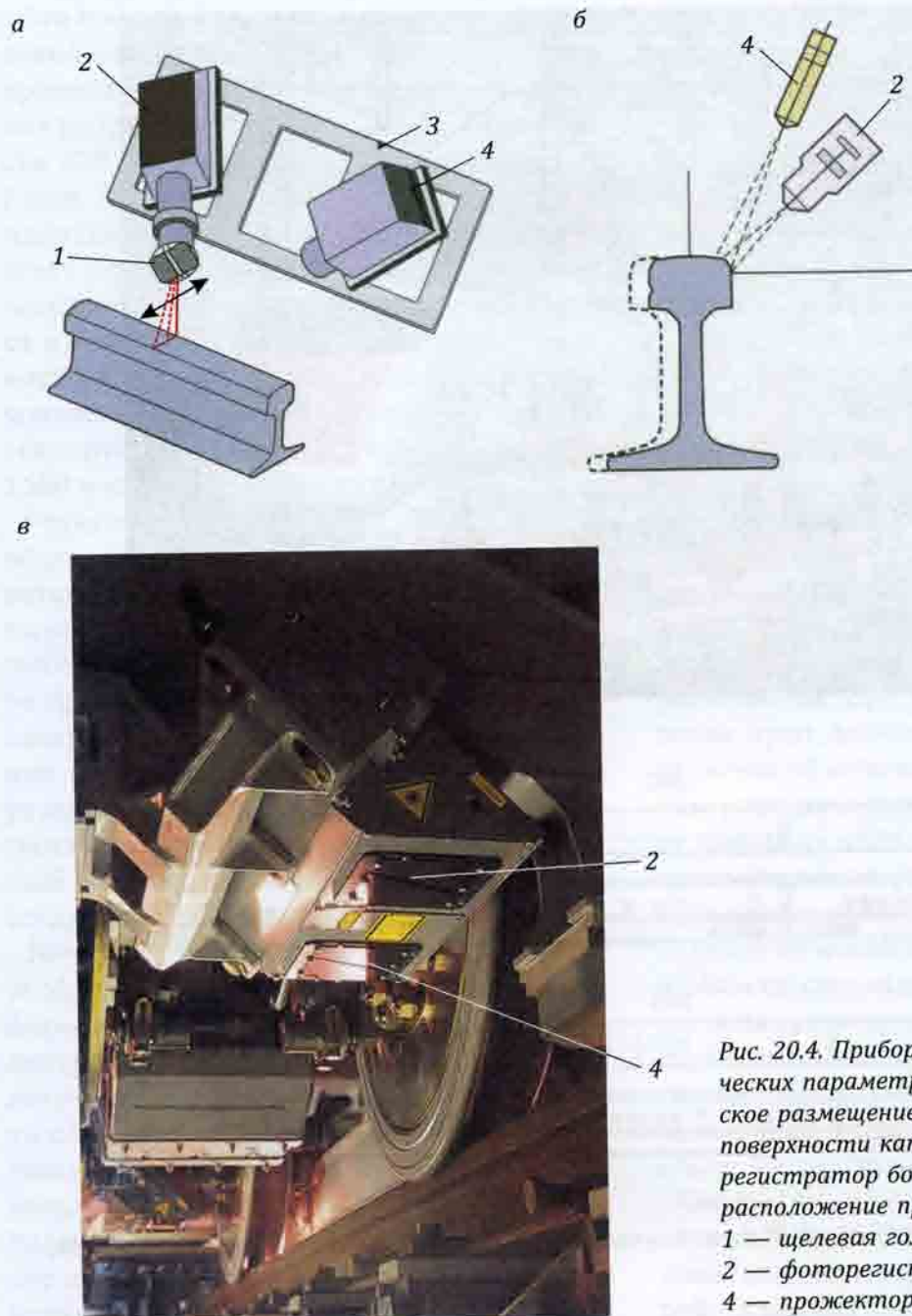


Рис. 20.4. Приборы для измерения геометрических параметров рельсов: а — схематическое размещение регистратора состояния поверхности катания головки рельса; б — регистратор боковой грани рельса; в — расположение приборов на тележке поезда: 1 — целевая головка фоторегистратора; 2 — фоторегистратор; 3 — рама прибора; 4 — прожектор

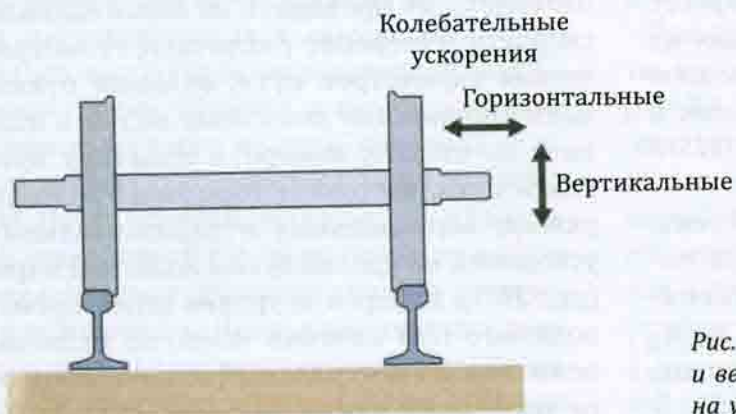


Рис. 20.5. Схема измерения горизонтальных и вертикальных колебательных ускорений на уровне буксы колесной пары

отклонения в техническом состоянии путевой структуры.

Контрольно-измерительная и регистрирующая аппаратура расположены в следующих вагонах: № 1 — телекамеры для записи в процессе инспекционной поездки состояния пути впереди поезда; устройства для измерения геометрического положения проводов контактной подвески; измерительные системы путевых устройств автоматики, телемеханики и связи (указанный комплект приборов этого вагона используется при поездках вперед вагоном № 1); № 2 — устройства для измерения бокового давления на колесо; для измерения ускорений на уровне букс колесных пар; № 3 — устройства для измерения уровня вибрации вагона и смещения рельсов; мониторинга состояния рельсов; компьютер обработки данных измерения бокового давления на колесо; устройства записи изображения; № 4 — в системе электроснабжения устройство измерения износа контактного провода, высоты, боковых отклонений; осмотр с поста наблюдателя за процессом токосъема; № 5 — в электроснабжении устройство цифровой обработки данных измерений; мониторинга питающих прово-

дов системы электроснабжения; приборы тестирования путевых устройств считывания номера поезда; № 6 — телекамеры для записи в процессе инспекционной поездки состояния пути впереди поезда; устройства для измерения геометрического положения проводов контактной подвески; измерительные системы путевых устройств автоматики, телемеханики и связи (указанный комплект приборов этого вагона используется при поездках вперед вагоном № 6).

Третий (немоторный) вагон поезда оборудован специальными тележками, с помощью которых так называемым методом «двух тележек», датчики измеряют вертикальное смещение внутренних колес (осей) на неровностях пути (рис. 20.6). Измеренная величина вертикального смещения на контрольных отрезках $AB=2,3$ м и $BC=14,3$ м, преобразованная в цифровую информацию, передается в компьютер, где вычисляется и фиксируется вертикальное отклонение прямолинейности рельса в пересчете на длине 10 и 40 м.

Отклонение прямолинейности рельсов в плане фиксируется с помощью комплекта магнитных и оптических датчиков, закреп-

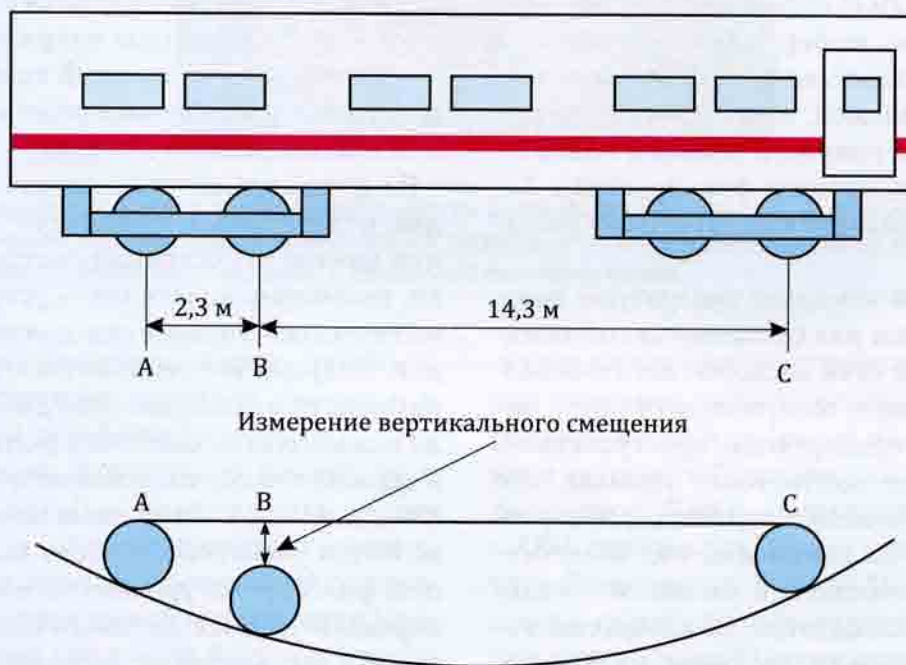


Рис. 20.6. Измерение прямолинейности рельса в вертикальной плоскости

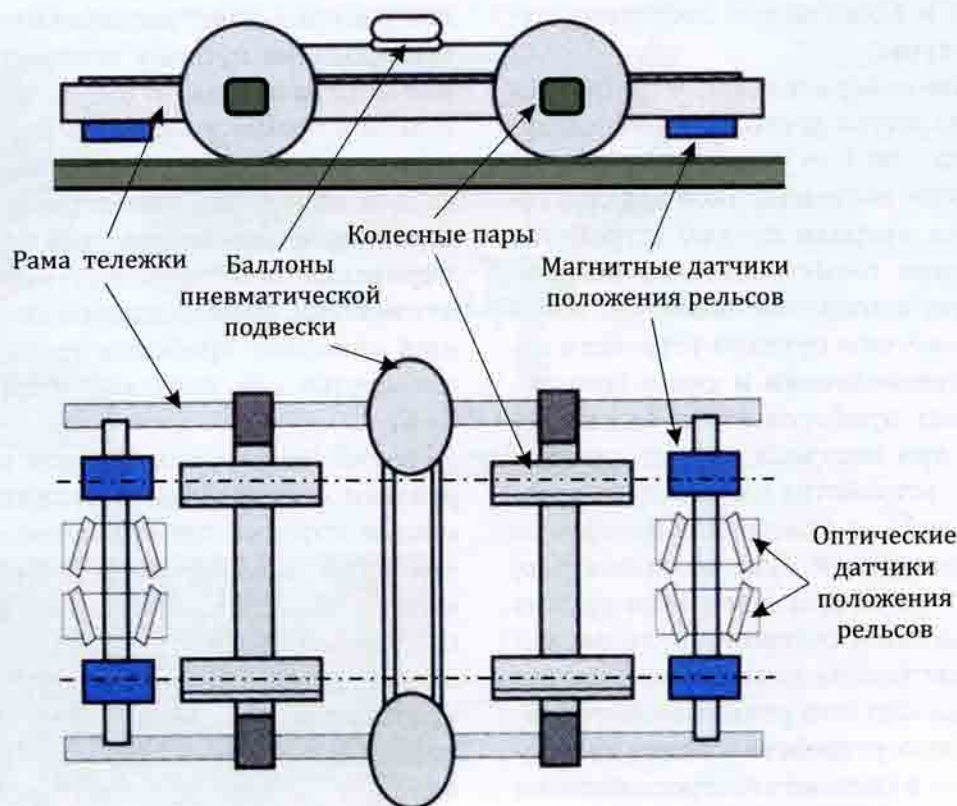


Рис. 20.7. Схема размещения на тележке вагона устройств измерения прямолинейности рельсов в плане

ленных на двух тележках одного вагона также по методу «двух тележек». Работающие совместно магнитные и оптические датчики (рис. 20.7) определяют положение рельса в плане, информация передается в компьютер, сопоставляющий данные датчиков двух тележек, выдает информацию об отклонении ровности рельса в плане на базе 10 и 40 м, которая фиксируется в базе данных в привязке к конкретному участку пути.

Специальный комплекс аппаратуры поезда предназначен для слежения за состоянием контактной сети и систем электроснабжения. С помощью лазерных датчиков и видеокамер контролируются пространственное положение контактного провода, его износ, геометрические параметры поперечного сечения, их изменение под воздействием токоприемников. В вагоне № 4 находится пост наблюдателя за процессом токосъема и видеокамера слежения для непрерывной записи работы токоприемника (рис. 20.8).

Во время инспекционных поездок проверяется также режим работы тяговых трансформаторов и сетей электроснабжения, фиксируются и точно соотносятся с конкретной точкой пути величины напряжения на питающем проводе; тяговые токи — в соответствии с различными режимами движения инспекционного поезда.

На концевых вагонах поезда размещены два независимых комплекта аппаратуры для контроля состояния систем автоматики, телемеханики и связи — устройств автоматического управления движением поездов. Во время инспекционных поездок в зависимости от направления движения поезда используется комплект, расположенный в первом по ходу следования поезда вагоне (№ 1 или № 6). С помощью комплекта проверяется работоспособность рельсовых цепей; фиксируется уровень сигнала в системе передачи данных автоматической локомотивной сигнализации; выявляются помехи; оценивается состояние поездной радиосвязи; замеряется напряженность электромаг-



Рис. 20.8. Контроль состояния контактной подвески и процесса токоосъема: а, б — устройства лазерного сканирования положения контактного провода; в — пост наблюдателя за работой токоприемника и контактной сети (врезка) и общий вид токоприемника

нитного поля; частота появления ошибок в служебных системах передачи данных и в коммерческой телефонной связи.

Вся собранная информация фиксируется в цифровом виде на магнитных носителях в компьютере поста управления измерительными системами поезда, а по окончании поездки передается в компьютер Центра управления Синкансэн Восточной японской железнодорожной компании (ВЯЖК), где накапливается, систематизируется и

используется для планирования текущей и долгосрочной работы по обслуживанию и ремонту устройств (схема на рис. 20.9). Однако первичный анализ полученных в ходе поездок «East i» данных осуществляется с АРМ персоналом поезда уже во время текущей инспекции (рис. 20.10). При обнаружении существенных отклонений состояния каких-либо объектов от нормы об этом немедленно сообщается в Центр управления для принятия экстренных мер. За трое

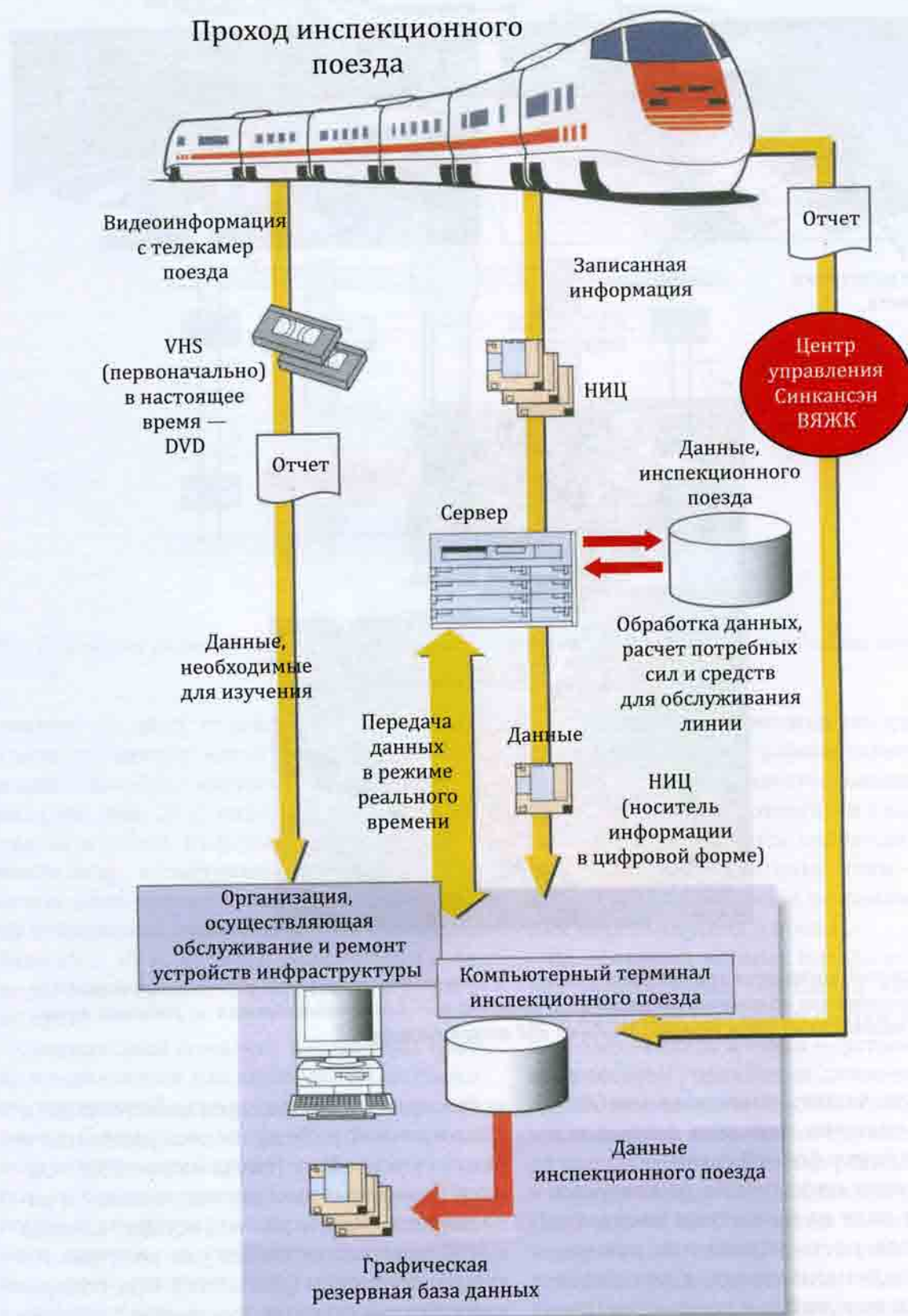


Рис. 20.9. Укрупненная структурная схема передачи данных, полученных инспекционным поездом «EAST i»



Рис. 20.10. Автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов поезда

сутки поезд проходит все высокоскоростные линии, входящие в Восточную японскую железнодорожную компанию, — около 1900 км, которые обслуживаются двенадцатью дистанциями пути, и пополняет банк данных, необходимых для планирования работ по обслуживанию инфраструктуры ВСМ.

Во Франции в период создания первой высокоскоростной железнодорожной магистрали «Юго-Восток» («Sud—Est») Париж—Лион (введена в эксплуатацию в 1981 г.), так же, как и в Японии, формировалась приборно-инструментальная база для контроля состояния устройств пути, автоматики, телемеханики и связи, систем электроснабжения ВСМ. Первоначально стационарные устройства ВСМ проверялись с помощью инспекционных вагонов типа «Mauzin», которыми измеряли геометрические параметры пути и вагонов типа «Hélène» и IES, предназначенных для проверки систем сигнализации и связи. Вагоны приводились в движение электровозом серии 2100 или тепловозом серии 67200.

В 1988 г. компания Alstom построила инспекционный вагон «Mélusine»¹, который для проведения исследований включали в состав следующих по расписанию поездов TGV между электровозом и пассажирскими вагонами. Вагон можно было использовать с любым из находящихся в эксплуатации высокоскоростных поездов: TGV Sud — Est,

Postal, Atlantique, Réseau, PBKA, POS, Duplex, кроме TGV TM из-за его меньшего габарита. Соединение вагона с локомотивом и пассажирским вагоном поезда осуществлялось с помощью винтовой ручной стяжки. Для сохранения единой электрической сети цепей управления и электроснабжения поезда через вагон были пропущены транзитные электрические кабели (в том числе высоковольтные) с концевыми разъемами. Еще один измерительный вагон «Mélusine» был изготовлен для использования на первой высокоскоростной линии Испании Мадрид — Севилья, открытой в 1992 г., где эксплуатировался в составах высокоскоростных поездов AVE, прототипом для которых были французские поезда TGV A.

С помощью оборудования, находящегося в вагоне «Mélusine», выявлялось взаимодействие подвижного состава и пути; определялись дефекты на поверхности катания рельсов, параметры рельсовой колеи в плане и по уровню; состояние контактной подвески inspectировалось с крыши вагона, где находится смотровой фонарь (блистер), из которого можно наблюдать за взаимодействием токоприемника ближайшего электровоза с контактным проводом. По мере расширения сети высокоскоростных сообщений и увеличения скорости движения эти измерительные вагоны перестали удовлетворять растущим требованиям эксплуатационников.

В 2004 г. администрация Национального общества железных дорог Франции (SNCF)

¹ Мелюзина — фея из кельтских и средневековых легенд, дух свежей воды в святых источниках и реках.



Рис. 20.11. Французский высокоскоростной инспекционный поезд «IRIS 320»

приняла решение построить высокоскоростной инспекционный поезд, который был введен в эксплуатацию в 2006 г. и получил наименование «IRIS 320»¹ (рис. 20.11).

Поезд создан на базе серийного трехсистемного высокоскоростного электропоезда TGV Réseau № 4530 выпуска 1995 г., прошедшего необходимую модернизацию и переделку; предназначен для комплексного инспектирования и измерения ряда параметров стационарных устройств высокоскоростных железнодорожных линий без создания помех для движения поездов по графику. Это возможно, поскольку максимальная скорость поезда, в том числе и в режиме проведения измерений — 320 км/ч. Поезд снабжен всеми необходимыми устройствами и оборудованием для измерений, обработки и анализа полученных данных, архивирования и хранения информации. С учетом продолжительных инспекционных поездок в вагонах поезда созданы комфортные условия для персонала во время работы и отдыха.

¹ От фр.: d'Inspection Rapide des Installations de Sécurité à 320 km/h («IRIS320») — Инспекция безопасности высокоскоростной инфраструктуры.

Поезд работает в режиме инспекции линий примерно 48 недель в году. Каждый квартал в течение одной недели поезд находится на своей базе, где проводится технический осмотр механической части, тягового привода, осуществляется необходимый ремонт, проверяются и тарируются измерительные приборы и аппаратура.

Структурные схемы информационного обеспечения работы поезда «IRIS 320» представлены на рис. 20.12, а, б, в.

Один раз в 15 суток с помощью поезда «IRIS 320» в движении со скоростью до 320 км/ч проверяется состояние всех высокоскоростных линий Франции, а также примыканий к ним. Каждые 3 месяца — обследуются остальные основные электрифицированные железнодорожные магистрали страны при движении со скоростью до 220 км/ч. В общей сложности обеспечивается проверка состояния до 280 тыс. км пути в год.

Как и в серийный пассажирский поезд, в состав «IRIS 320» включены два электровагона, расположенные по концам и 10 сочлененных вагонов. В вагонах № 1 и № 2 размещена аппаратура для проведения изме-

а



б



Рис. 20.12 (начало). Структурные схемы информационного обеспечения работы инспекционного поезда IRIS-320: а — алгоритм обработки информации в реальном масштабе времени; б — структурная схема включения поезда в систему эксплуатации и обслуживания железнодорожных линий и поездов TGV во Франции

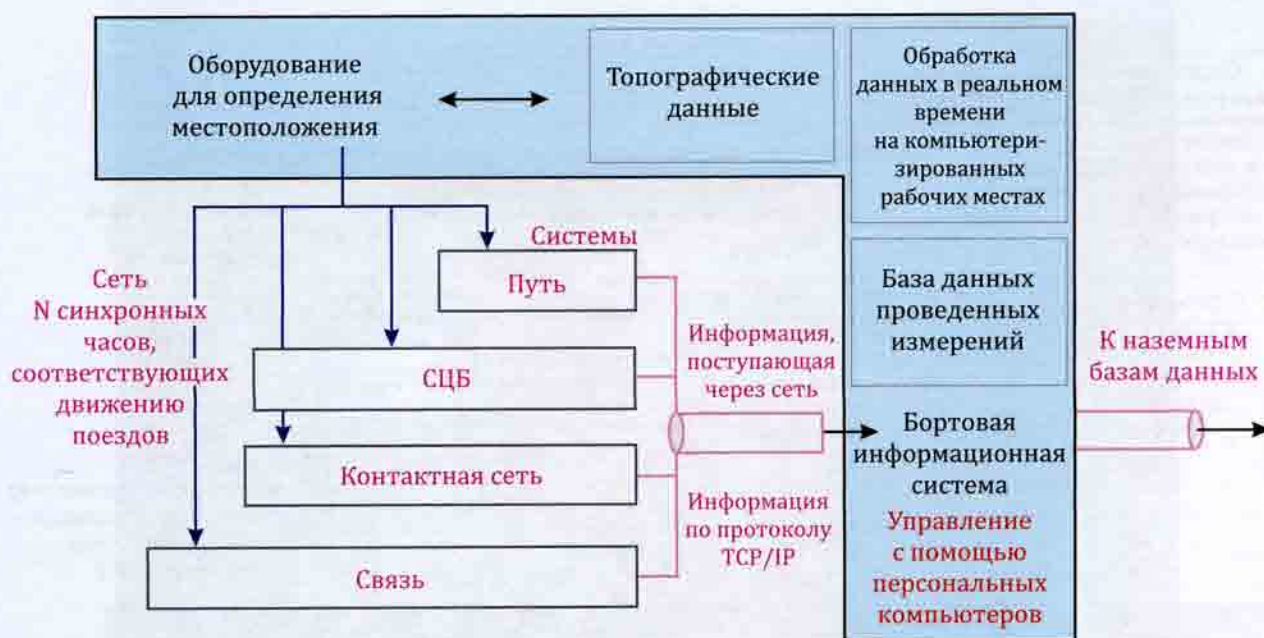


Рис. 20.12 (окончание): в — структура системы сбора и хранения информации на борту поезда «IRIS 320»

рений; в вагоне № 3 — компьютеры и периферийное оборудование для регистрации и обработки результатов измерений и аппаратура связи. Всего на поезде смонтировано 150 различных датчиков и 20 видеокамер, проложено 20 км волоконно-оптического кабеля.

В вагонах № 4 и 5 находятся залы для проведения совещаний, а также отсеки для хранения запасного оборудования, комплектующих и расходных материалов, необходимых для функционирования поезда, а также разного рода припасов для жизнеобеспечения персонала с учетом длительных поездок.

И, наконец, в вагонах № 6, 7 и 8 расположены купе для проживания персонала, кухня и другие помещения санитарного и бытового назначения, оснащенные соответствующим оборудованием и обеспечивающие нормальные условия для работы и отдыха персонала в течение полного цикла работы поезда в условиях автономной поездки.

Аппаратура первого вагона предназначена для исследования состояние путевой структуры с точки зрения взаимодействия с подвижным составом. Она функционально сочетает в себе возможности используемых

на сети железных дорог Франции инспекционных вагонов «Mauzin» и «Mélusine»: измерению, регистрации и последующей обработке подлежат геометрические параметры пути, поперечные и вертикальные ускорения кузова и тележек вагона в движении, но теперь все эти операции можно выполнять в большем объеме и с более высокой скоростью.

Кроме того, аппаратура, расположенная в первом вагоне, измеряет и другие параметры, в частности, температуру и влажность наружного воздуха, что позволяет при последующей статистической обработке результатов комплексных измерений выражать в количественном виде и интерпретировать разные данные, получаемые в случае расхождений результатов измерений на одном и том же участке при последовательных проходах поезда.

Измерение давления воздуха на боковые стенки вагона дает возможность исследовать явления аэродинамического характера при входе поезда в тоннель или встрече двух поездов, идущих с высокой скоростью во встречных направлениях. Это важно с той точки зрения, что такие аэродинамические явления обуславливают поперечные

ускорения кузовов вагонов, искажающие картину взаимодействия подвижного состава и пути и, следовательно, могут привести, например, к ошибочной идентификации наличия или отсутствия дефекта пути. Преимуществом инспекционного поезда перед инспекционным вагоном является то, что измерение параметров взаимодействия подвижного состава и пути с помощью датчиков, смонтированных на нескольких вагонах в голове, середине и хвосте поезда, дает в этом случае более полное представление о всем происходящем. Это весьма важно с точки зрения определения уровня комфорта для пассажиров на базе синхронно получаемой информации о динамике движения разных вагонов поезда.

Так же, как это принято на линиях Синкансэн в Японии, результаты измерений в обработанном виде с поезда «IRIS 320» оперативно передаются службам, отвечающим за стационарные устройства, в частности, службам пути, что позволяет своевременно организовывать выполнение мероприятий по устранению выявленных дефектов.

На крыше первого вагона имеется смотровой фонарь (блистер) и смонтированы видеокамеры, с помощью которых проверяется и фиксируется состояние контактной сети (рис. 20.13, а). Оператор, находящийся в фонаре, осуществляет визуальное наблюдение, а высокоскоростные камеры записывают изображения, которые после обработки передаются службам электроснабжения с привязкой к месту для сведения и принятия соответствующих мер. С измерительного токоприемника снимают характеристики, выдаваемые датчиками.

На измерительном токоприемнике находятся датчики измерения вертикальных сил и ускорений (1—4); датчики продольных ускорений полоза (5); датчики поперечных ускорений полоза (6); датчики вертикального ускорения основания токоприемника (7); датчик поперечного ускорения основания токоприемника (8); датчик поворота (9); датчики перемещения каретки на рессорном подвешивании (10, 11).

Аппаратура второго вагона функционально сочетает в себе возможности аппаратуры инспекционных вагонов «Hélène» и IES, но в расширенном виде и применительно к системам, применяемым на высокоскоростных линиях SNCF. С ее помощью проверяется состояние устройств сигнализации систем TVM 300 и TVM 400, в том числе рельсовых цепей. Кроме того, контролируется распределение обратного тягового тока по двум рельсовым нитям: его дисбаланс свидетельствует об отклонении от нормального режима работы.

Необходимо отметить, что в ряде стран, успешно эксплуатирующих ВСМ, используют инспекционные вагоны с локомотивной тягой для осуществления мониторинга состояния стационарных устройств. Так, например, в Италии эксплуатируется инспекционно-измерительный поезд «Archimede», состоящий из трех вагонов-лабораторий и электровоза (рис. 20.14).

В КНР с развитием сети высокоскоростных магистралей также были созданы инспекционные поезда для комплексной проверки состояния и измерения параметров различных стационарных устройств. В качестве базовых для них были использованы высокоскоростные поезда производства КНР CRH380A и CRH380B; инспекционные поезда получили, соответственно, индексы CRH380A-001 и CRH380B-002 (рис. 20.15).

С помощью этих восьмивагонных поездов выполняется уже считающийся стандартным набор проверок и измерений, включая геометрические размеры пути; определение положения рельсовых нитей в профиле и плане; динамическое взаимодействие колесных пар с рельсами (и, таким образом, качественное состояние пути); качественные характеристики радиосвязи; положение в пространстве и степень износа контактного провода; проверка работы сигнальных балис и др. Оценка состояния рельсового пути производится с помощью лазерных систем и обработки полученных изображений высокоскоростным процессором, работающим по оригинальной программе распознавания образов. Автоматическая ком-

a



б

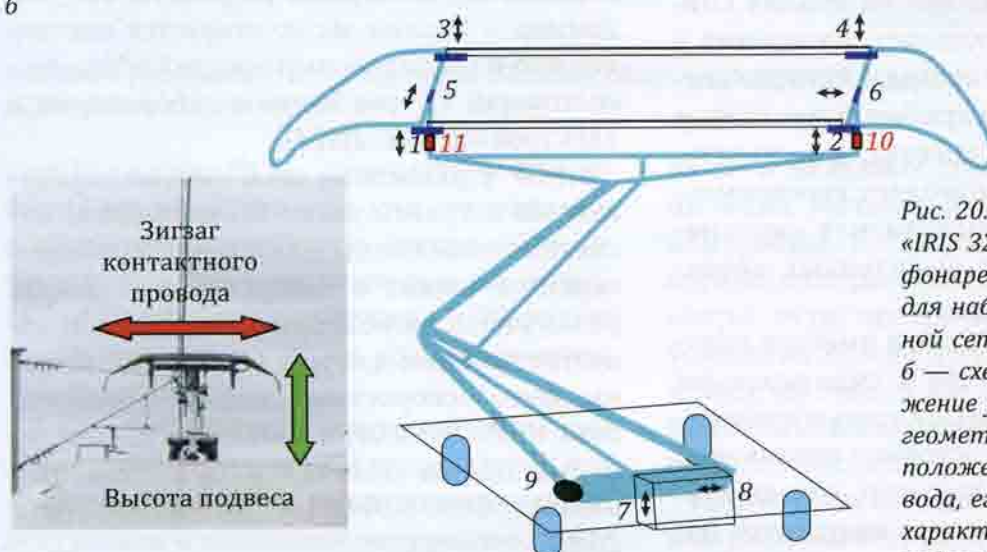


Рис. 20.13. Вагон поезда «IRIS 320» со смотровым фонарем-блистером на крыше для наблюдения за контактной сетью: а — общий вид; б — схематическое изображение устройства измерения геометрических параметров положения контактного провода, его износа, динамических характеристик контактной подвески

пьютерная система ведет в реальном масштабе времени в процессе инспекционных поездок анализ состояния контактной сети: ее положение в пространстве и динамическое взаимодействие с токоприемником (рис. 20.16).

Комплекс радиотехнических устройств каждого из китайских инспекционных поездов позволяет зафиксировать качество приема и передачи радиосигналов стандарта GSM-R в диапазоне 450 мГц и GSM-R QoS, а также оценить с позиций охраны окружающей среды напряженность электромагнитных полей вдоль линий ВСМ.

В инспекционных поездах имеется информационная сеть, в которую включены все бортовые компьютеры. В нее в реальном масштабе времени поступает вся зафиксированная приборами поездов информация.

Для работы и отдыха персонала измерительных поездов в вагонах имеются лаборатории, мастерские, складские помещения, залы для проведения совещаний, жилые купе, кухня и столовая.

В других странах, эксплуатирующих высокоскоростные магистрали, также используются специальные инспекционные вагоны и поезда, принципиально не отличаю-

а



б



Рис. 20.14. Измерительный вагон инспекционного поезда «Archimede»: а — рабочее место оператора-наблюдателя за работой контактной сети; б — интерьер рабочего помещения операторов. Италия, 2005 г.



Рис. 20.15. Китайский высокоскоростной инспекционный поезд CRH380A-001



Рис. 20.16. Изображение на экране монитора состояния контактной сети в процессе инспекционной поездки

щиеся по своим функциональным возможностям от представленных.

Завершая рассмотрение основных принципов организации мониторинга состояния стационарных устройств на ВСМ, необходимо обратить внимание на то, что при всем обилии инструментальных средств контроля состояния пути, контактной подвески, искусственных сооружений, систем СЦБ и связи, на зарубежных ВСМ регулярно производится и визуальный осмотр специалистами устройств и сооружений высокоскоростных линий. Профессия путевого обходчика, естественно, значительно обнов-

ленная по содержанию решаемых задач, не отменена на высокоскоростных железнодорожных магистралях. Многочисленные приборы и устройства, обеспечивающие мониторинг состояния стационарных устройств, обязательно сопровождаются дополнительно специально подготовленными обходчиками, которые выполняют регулярный контроль состояния рельсов, шпал, креплений, земляного полотна и искусственных сооружений, визуально проверяют устройства электроснабжения.

Так, на японских ВСМ бригады контролеров-обходчиков производят освидетельст-

ование пути с периодичностью один раз в несколько суток. Проводятся также и регулярные комиссионные осмотры стационарных устройств комплексными бригадами специалистов и руководителей подразделений.

При определении годности элементов верхнего строения пути принимается во внимание нормативная долговечность элементов — рельсов, шпал, креплений. Определяется степень их износа, фиксируется наличие механических и коррозионных повреждений. По результатам этого осмотра в план-задание на ремонтные работы (см. далее) вносятся необходимые дополнения и изменения. Контролеры-обходчики проводят также обследования участков, где могут происходить оползни, осадка основания пути, изменение установленных температурных зазоров в рельсовых стыках и т.д. С определенной периодичностью производится обследование искусственных сооружений. В случае обнаружения дефектов, угрожающих безопасности движения поездов, принимаются меры к их остановке. При действии поездной радиосвязи и наличии у всех путевых обходчиков переносных радиостанций и сотовых телефонов на японских дорогах Синкансэн установлены аварийные кнопки на опорах контактной подвески для экстренной остановки поезда, которыми в случае крайней необходимости может воспользоваться контролер-обходчик.

20.3. Техническое обслуживание и ремонт пути¹

Многолетний опыт эксплуатации зарубежных высокоскоростных магистралей указывает на целесообразность совместного обслуживания устройств пути, электрооборудования, сигнализации, централизации

и автоблокировки. Создание объединенных подразделений или предприятий для выполнения этих работ позволяет уменьшить аппарат управления, эффективнее использовать производственные базы для осуществления планово-предупредительных и ремонтных работ и время «окон», выделяемых в графике движения поездов. Появляется возможность организации единого автоматизированного центра накопления и обработки информации, управления производством, создания диагностических подвижных лабораторий для комплексной проверки состояния объектов различных служб.

Вместе с тем, для проведения больших по объему работ, например выправки пути, сплошной замены рельсов и рельсошпальной решетки, замены контактного провода и т.п., компании, эксплуатирующие ВСМ, прибегают к услугам подрядных организаций, имеющих специализированную технику, машины и оборудование.

Рассмотрим принципы организации обслуживания пути на высокоскоростных железнодорожных магистралях, основываясь на опыте более чем сорокалетней эксплуатации ВСМ Токио — Осака, на которой уложен путь на балласте, опыте Франции и других стран, а также ВСМ, на которых используются безбалластные конструкции.

Независимо от того, о какой конкретно конструкции пути идет речь (балластная или безбалластная), принципиально важным является организация работ по обслуживанию и ремонту (как текущему, так и капитальному), базирующаяся на анализе материалов периодических инспекций ВСМ и измерений параметров пути и постоянного сопоставления их с проектными данными.

На *рис. 20.17* представлен общий алгоритм организации работ по обслуживанию пути и управления качеством Восточной японской железнодорожной компании, эксплуатирующей несколько ВСМ. Как видно на схеме, планирование работ осуществляется Технологическим центром обслуживания пути, который располагает информационной базой, хранящейся в центральном сервере компании. В ней в цифровом виде

¹ При написании раздела использованы материалы совместных публикаций авторов с Б.Г. Волковой, К.Н. Дьяковым, В.Е. Евсиным, М.В. Поповичем, А.В. Скрыльником и В.Ф. Яковлевым.

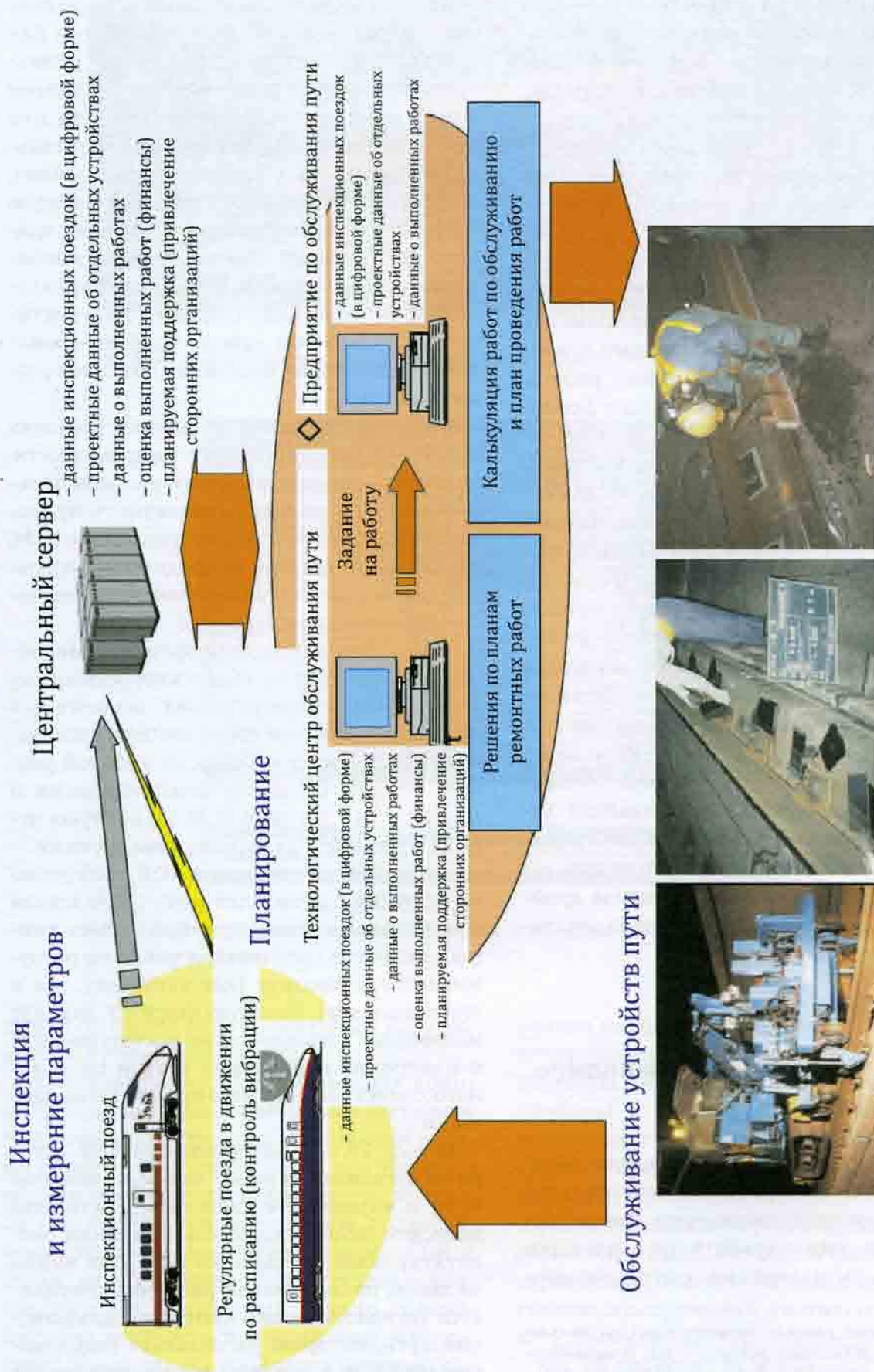


Рис. 20.17. Общий алгоритм организации работ по обслуживанию пути и управления качеством Восточной японской железнодорожной компании

содержатся проектные данные обо всех устройствах пути; информация о ранее проведенных ремонтных работах; данные о текущем состоянии пути по результатам поездок инспекционных поездов, а также информация о результатах измерения ускорений и вибраций, записанных аппаратурой, установленной на поездах, находящихся в регулярном обращении; информация о затратах на ранее выполненные работы; планируемое привлечение к обслуживанию пути сторонних организаций.

Исходя из анализа указанной информации принимаются решения по планированию ремонтных работ и выдаются задания предприятиям по обслуживанию пути. В документах для подрядных организаций указывается место производства работ, их содержание, планируемые объемы. Выбор варианта технического обслуживания пути зависит от многих факторов, основными из которых являются: конструкция пути, характер эксплуатационной работы участка; наличие средств диагностики состояния пути, машин и механизмов для обслуживания; схема расположения участка и т.д. Подрядные организации составляют калькуляцию плана проведения работ, согласовывают ее с эксплуатирующим предприятием.

Обратимся к примеру технического обслуживания одной из старейших японских высокоскоростных магистралей «Санъё» Син-Осака — Хаката протяженностью 554 км, полностью введенной в эксплуатацию в 1985 г. (первый участок 169 км — в 1972 г.)¹. Более половины всей эксплуатационной длины путей магистрали проложены на искусственных сооружениях — мостах, виадуках, путепроводах и в тоннелях, среди которых один из самых протяженных подводных тоннелей в мире — Син-Камон (18,7 км), соединивший острова Хонсю и Кюсю.

Линия Син-Осака — Хаката разделена на девять линейных участков, осуществляющих техническое обслуживание всех устройств, имеет один центральный диспет-

черский пункт в Токио и три местных диспетчерских центра в Осаке, Хиросиме и Кокуре. На каждом участке работают 35—40 человек.

Около половины длины пути (272,7 км) уложено на балласте, толщина которого под шпалой — 20 см, плечо балластной призмы — 50 см, заложение откосов — 1:1,8. На остальной части ВСМ рельсы уложены на железобетонные плиты длиной по 5 м, зафиксированные цилиндрическими бетонными стопорами на упроченном цементом земляном полотне.

Минимальный радиус кривых — 3500 м, максимальное возвышение наружного рельса — 190 мм, подуклонка рельсов — 1/40; бесстыковой путь с плетями — длиной в перегон, закрепленный на постоянный режим эксплуатации в интервале температур от +20 до +30 °С при расчетном допускаемом интервале закрепления от +10 до +60 °С. Плетни, лежащие в тоннелях, закреплены в интервале от +5 до +20 °С. Используются высокопрочные изолирующие стыки, выдерживающие усилия на разрыв и сжатие до 230 тс; суммарная масса деталей стыка — 40 кг.

Три раза в месяц контроль состояния пути осуществляется диагностическим поездом типа 923 (состав Т5, «Doctor Yellow-923») при скорости движения — 270 км/ч; 1—2 раза в месяц — визуально бригадой контролеров-обходчиков и 1 раз в год — комиссией.

Диагностическим поездом контролируются следующие параметры: отклонение пути в плане и профиле; уровень вибрации; ускорение на буксе; состояние уравнильных стыков и величина температурного зазора; состояние рельсов, шпал, плит, креплений. При обходах и комиссионных осмотрах персонал участка оценивает состояние балласта, шпал, плит, креплений, стрелочных переводов.

Все контролируемые параметры с поезда передаются в компьютерную систему подразделений. Производится расчет объемов работ, которые необходимо выполнять для улучшения плавности хода высокоскоростного подвижного состава, и определяются расходы на выполнение этих работ.

¹ Максимальная скорость движения пассажирских поездов в настоящее время — 300 км/ч, время в пути — 2 ч 15 мин.

На большинстве ВСМ Европы принято обслуживание объектов и устройств инфраструктуры комплексными подразделениями, в состав которых входят специалисты по содержанию пути, системам электроснабжения, СЦБ и связи и др. Размещение центров обслуживания линий ВСМ (их иногда еще называют «логистическими центрами обслуживания») рассмотрим на примере Бельгии — страны, имеющей самую густую сеть железных дорог в мире, а также несколько протяженных участков ВСМ (рис. 20.18). В логистических центрах сосредоточен персонал инженерно-технических работников, необходимые машины и оборудование для комплексного обслуживания всех устройств инфраструктуры, включая путь, искусственные сооружения, системы электроснабжения, контактной сети, СЦБ и связи.

Необходимо отметить, что в период проектирования и строительства первой в мире ВСМ Токио — Осака планировалось, что обслуживание стационарных устройств бу-

дет производиться в выделенные в графике «окна» продолжительностью несколько часов, как в дневное, так и в ночное время. При этом ночью во время перерыва в движении пассажирских поездов предполагалось пропускать по магистрали ускоренные грузовые поезда (в основном контейнерные) для перевозки срочных ценных грузов. По трассе магистрали Токио — Осака велось даже строительство нескольких грузовых контейнерных станций. Однако, с началом эксплуатации оказалось, что ежедневное обслуживание пути и других устройств, требует гораздо большего времени и «окон» в расписании, продолжительностью не менее 3—4 часов.

В результате на японских ВСМ, так же как и на ряде ВСМ других стран мира, сложилась следующая эксплуатационная модель: движение поездов по расписанию осуществляется с 6.00 до 24.00 часов. В Японии время с 0 часов до 6 утра отведено для обслуживания и ремонта стационарных уст-



Рис. 20.18. Расположение логистических центров обслуживания ВСМ Бельгии

роиств. Однако, собственно работы производятся примерно с 1 часа ночи до 5 утра, в «окно» продолжительностью около 4 часов. После полуночи — с поступлением информации о проследовании последнего по графику поезда (маршруты некоторых поездов могут начинаться и заканчиваться не на конечных станциях, поэтому окончание движения на всей линии может происходить с задержкой в несколько минут после 0 часов), начинается выезд на линию ремонтных бригад и подготовка к проведению работ.

В других странах, например во Франции, «окна» для обслуживания продолжительностью по 5,5 часа выделяются ночью, в Испании также ночью — продолжительностью 4 часа; на Тайване — окна по 4,5 часа ночью с 00 часов 30 мин до 5 часов утра. На ВСМ КНР окна для обслуживания установлены ночью продолжительностью в 4 часа. В Бельгии ежедневно в середине дня устраивают «окна» от 40 мин до 1 часа, ночью — на одном из путей — 6 часов, на втором (другом) — 4 часа.

В Японии после завершения путевых работ с 5 утра до 6 утра осуществляется контроль устройств, приборов и оборудования. Особо проверяется состояние контактной подвески, устройств пути с точки зрения безопасности движения: наличие на нем случайно забытого инструмента, приспособлений, деталей, запасных частей, замененного оборудования и др.

Подразделения, обслуживающие устройства на линии ВСМ, действуют в соответствии с утвержденным регламентом. Положения регламента определяют, помимо всего прочего, порядок транспортировки, погрузки и учета на месте проведения работ инструмента, оборудования, материалов, запасных частей и т.п., чтобы до минимума снизить вероятность того, что на месте проведения работ случайно оставлены посторонние предметы.

Однако, в дополнение к этому, на японских ВСМ ежедневно после окончания работ перед началом регулярного движения поездов с 5 до 6 утра по всей линии по обоим путям от одного конечного пункта до другого на ско-

рости до 70 км/ч проходят специальные инспекционные моторные вагоны (рис. 20.19), так называемые «чистильщики»¹, на которых находятся наблюдатели, проверяющие свободу пути. Точки отправления инспекционных вагонов выбираются таким образом, чтобы к 6 часам утра оба главных пути были полностью обследованы на всем протяжении.

Инспекционный вагон оснащен мощными прожекторами, освещающими путь. На нем установлены видеокамеры, с помощью которых на видеомэгнитофоне записывается картина пути перед вагоном и позади него. Наблюдатели осматривают пути с целью обнаружения каких-либо препятствий (посторонних предметов). Кроме того, изображение пути перед вагоном, привязанное к координате данной точки, передается в цифровом виде в бортовой компьютер. Имеющаяся в нем программа распознавания образов выявляет случайные элементы изображения, отличные от картины пути на данном участке, хранящемся в памяти компьютера, опознает посторонние предметы и препятствия на пути (рис. 20.19, в, г), о чем подается тревожный сигнал и автоматически включаются тормоза вагона.

Только после прохода по каждому конкретному участку пути инспекционного вагона (их может быть на линии несколько в данный день, в зависимости от объемов проводимых работ) и докладов наблюдателей на центральный пост о «чистоте» пути, открывается регулярное движение поездов по расписанию.

В разных странах придерживаются различных подходов к необходимости пропуска «вагона-чистильщика» («поезда-чистильщика») по ВСМ перед началом основного движения. В Италии такой поезд (вагон) не пропускается и первый поезд открывает движение на максимальной скорости. На ВСМ Испании, Тайваня, Южной Кореи, Бельгии и Великобритании «поезд-чистильщик» проходит с уменьшенной скоростью (до 170—200 км/ч), во Франции на первой

¹ От англ.: sweeping car — чистильщик, что определяет его назначение — проверить чистоту, свободу пути от посторонних предметов.

а



б



в

г



Рис. 20.19. Инспекционный вагон японских ВСМ: а, б — общий вид; в, г — изображение на экране компьютера автоматической системы обнаружения препятствий на пути

ВСМ Париж — Лион такой поезд не пропускается, а на других ВСМ — пропускается.

Естественны различия в обслуживании пути на балласте и на плитном основании (табл. 20.1). В первом случае наиболее трудоемкими являются работы по периодической очистке и частичной замене щебеночного балласта, частицы которого истираются в процессе эксплуатации, приобретают округлые формы, теряя способность сопротивлению на сдвиг, а также загрязняются различными примесями, включая органические остатки, что ухудшает дренажные свойства балласта.

Трудоемкой работой при обслуживании пути на балласте является также выправка пути — ликвидация отклонений геометрических параметров пути (положение рельсовых нитей в плане и профиле), а также упрочнение несущих элементов основания балластной призмы, поддержание ее проектных очертаний в поперечном сече-

нии. Понижение колеи, вызванное осадкой основания, устраняется путем подъема рельсо-шпальной решетки, подсыпкой балласта в подшпальное пространство с последующей подбивкой осуществляемой шпалоподбивочными машинами, а в некоторых случаях — индивидуальными электрическими шпалоподбойками.

Очистка щебня производится щебнеочистительной машиной (рис. 20.20). Процесс включает ряд операций: загрязненный щебень вырезают рабочим органом из соответствующих зон балластной призмы и транспортируют на грохот¹, в котором производится отделение сора и разделение частиц щебня на фракции. Очищенный щебень, иногда с добавками свежего материала, вновь укладывают в путь, а отделенный

¹ Большое сито (решето), совершающее вибрационные колебания, служащее для просеивания сыпучих материалов. При механизированном процессе получило название грохот за характерный шум при работе.

Основные виды работ, входящие комплекс обслуживания пути

Конструкции пути на балласте	Безбалластный путь
Поддержание проектных параметров земляного полотна, устройств водоотведения, дренажа	
Поддержание проектных параметров искусственных сооружений	
Очистка, замена материала балластного слоя, поддержание проектных геометрических параметров балластной призмы	—
Выправка пути для поддержания проектного положения рельсовых нитей в плане и профиле	—
Постановка и снятие креплений, смазка, подтяжка болтовых соединений и шурупов	
Установка и замена подкладок, изолирующих прокладок	—
—	Регулировка положения рельсовых нитей в плане и профиле путем изменения положения плит основания, их фиксация цементным раствором
Шлифовка рельсов	

а



Рис. 20.20 (начало). Щебнеочистительная машина: а — общий вид



Рис. 20.20 (окончание): б — действующий рабочий орган (хорошо видна цепь, проходящая под рельсошпальной решеткой, выгребающая загрязненный балласт)

сор складывают на обочине, или сразу грузят в саморазгружающиеся вагоны (платформы) и вывозят для захоронения на полигоны-свалки, или утилизируют другими способами. В некоторых случаях под очищенный щебень укладывается гидроизолирующий слой, а на него дополнительно отсыпается песчаная подушка с послойным уплотнением.

Щебнеочистительные машины, так же как и другая техника для обслуживания железнодорожного пути, выпускаются многими фирмами, в частности компаниями Plasser & Theurer (Австрия), MATISA (Matériel Industriel SA) и Speno International SA (Швейцария), а также в Японии, Германии и других странах. Современная техника для обслуживания железных дорог производится и в России.

Рассмотрим в качестве примеров несколько наиболее известных в Европе машин для обслуживания пути. Путеремонтный щебнеочистительный комплекс RM-802 фирмы Plasser & Theurer включает в себя машину для перегрузки балласта, четыре ва-

гона MFS-40, оснащенных конвейерами, вагон-электростанцию, агрегат для подрезки балласта, щебнеочиститель с двумя вибрационными грохотами и вагон-мастерскую (рис. 20.21). В процессе движения комплекса производится подборка заранее выгруженного свежего балласта; уборка засоренного балласта; очистка балласта в грохоте; смешивание свежего и очищенного балласта; укладка смеси на основную площадку земляного полотна. Отходы убираются в сторону от пути или грузятся в вагоны. Применение комплекса RM-802 при ремонте пути сокращает расход балласта почти в два раза.

Еще одним важным и трудоемким видом работ по поддержанию надлежащего состояния пути является выправка — исправление его положения в продольном профиле с уплотнением балласта под шпалами. Она выполняется на главных и станционных путях с помощью выправочно-подбивочно-рихтовочных машин. Работы по выправке пути в продольном профиле и по

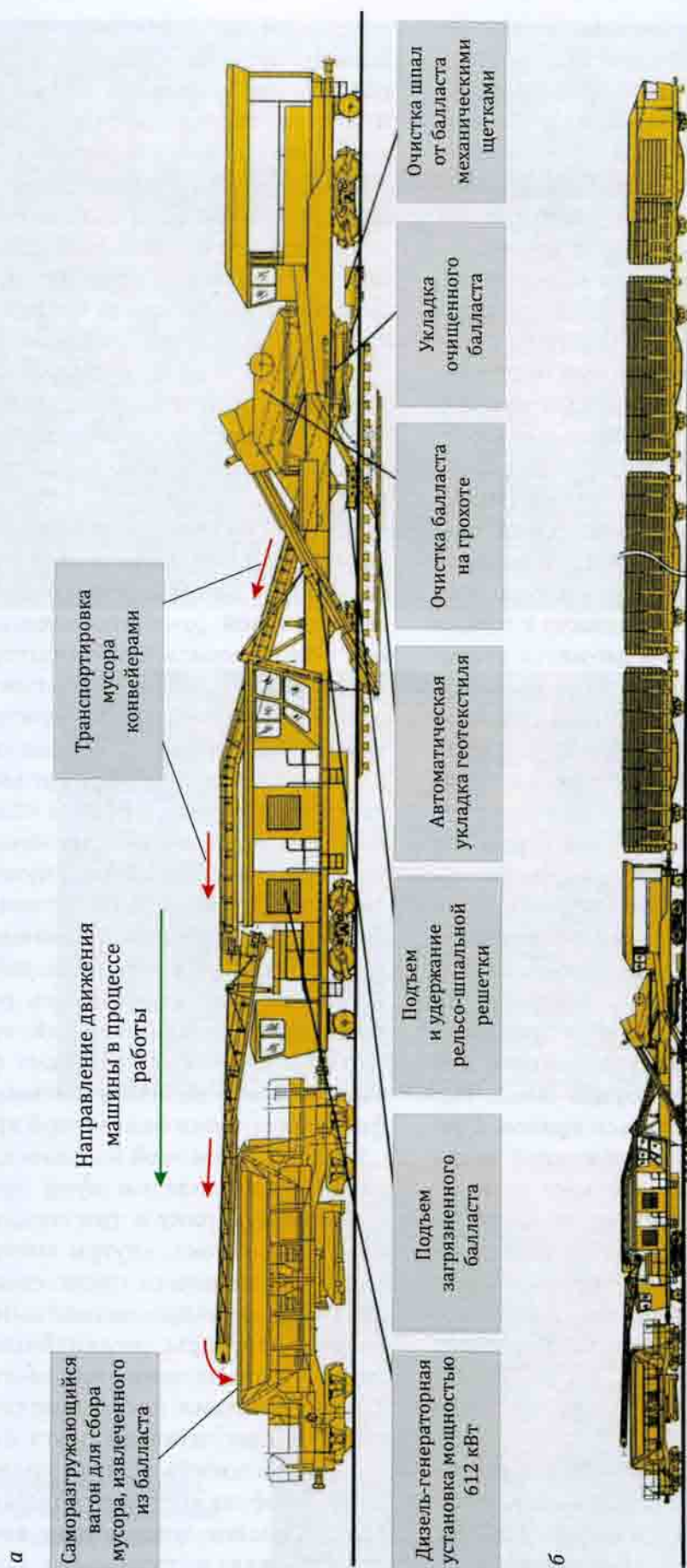


Рис. 20.21. Щебнеочистительная машина: а — схема работы; б — схема компоновки щебнеочистительного поезда. На платформах поезда находится запас плит из пенопласта, укладываемых в путь после очистки щебня. Фирма Plasser&Theurer, Австрия

уровню (положение рельсовых нитей относительно друг друга) производятся после фиксации контрольными приборами, установленными в инспекционных и в пассажирских поездах, нарушений плавности движения, выявления инспекционными поездами нарушения взаимного расположения рельсовых нитей по уровню и других отклонений от проектного положения пути.

Для производства выправки пути компанией Plasser & Theurer разработаны самоходные выправочно-подбивочно-рихтовочные машины Duomatic 09-32 CSM циклично-непрерывного действия. Машина имеет прицеп-сателлит, на котором размещаются подъемно-рихтовочное устройство для выправки пути, два подбивочных блока, реализующих асинхронный принцип подбивки двух рядом лежащих шпал в пути, и виброплиты для уплотнения балласта у торцов шпал (рис. 20.22). Машина движется непрерывно, а сателлит совершает пошаговые перемещения. Для автоматизированной выправки пути машина оснащена специальной системой и лазерным контрольным устройством.

Для обслуживания стрелочных переводов и пути применяется самоходная универсальная машина 08-275 Unimat 3S. Машина оснащена подъемно-рихтовочным устройством для выправки пути, двумя одношпальными подбивочными блоками с поворотными подбоями, обеспечивающими асинхронную подбивку, и двумя виброплитами для уплотнения балласта у торцов шпал. Машина может комплектоваться краном с телескопической стрелой, снабженной подъемными крюками и роликовыми захватами для подъема стрелочного перевода за рамный рельс. Подъем стрелочного перевода за три точки позволяет снизить нагрузки на рельсы и обеспечить горизонтальное положение перевода. Машину 08-275 Unimat 3S совместно с фирмой Plasser & Theurer выпускает ОАО «Калужский завод «Ремпутьмаш» в России.

Для выправочно-подбивочных работ также используются шпалоподбивочные машины В-50D швейцарской фирмы MATISA, имеющие внутренний прицеп-сателлит, ос-

нащенный рабочими органами для одновременной подбивки двух шпал. Машина хорошо зарекомендовала себя на обслуживании пути, предназначенного для высокоскоростного движения (рис. 20.23).

Известно, что после производства выправочно-подбивочных работ путь продолжает оседать под поездной нагрузкой. В целях окончательной стабилизации пути по нему необходимо пропустить большое количество поездов. Для ускорения этого процесса используются динамические стабилизаторы пути, которые осуществляют вибродинамическую нагрузку через путевую решетку на балластный слой, имитируя движение поездов.

Принцип работы динамического стабилизатора пути рассмотрим на примере машины ДСП-С4 производства ОАО «Свердловский путевой ремонтно-механический завод «Ремпутьмаш». Стабилизатор представляет собой самоходный экипаж с рабочим органом и контрольно-измерительной системой геометрического положения пути. Основная идея рабочего органа заключается в достижении эффекта «бегущей волны», возникающей при движении поезда с одновременной вибрацией путевой решетки в горизонтальной и вертикальной продольных плоскостях. Соотношение частот горизонтальной и вертикальной вибраций 1 : 2. Это дает возможность реализовать траектории вибросмещений путевой решетки в виде седлообразных фигур Лиссажу, что обеспечивает оптимальный эффект уплотнения балластной призмы.

Рабочий орган этой машины для динамической стабилизации пути представляет собой общую раму и три соединенных тягами виброблока, внутри которых размещены вращающиеся грузы, создающие колебания с двунаправленной вынуждающей силой. Вибраторы, соединенные между собой и с приводными гидромоторами карданными валами, последовательно смещены друг относительно друга по фазе, что дает возможность при их колебаниях получать эффект «бегущей волны», имитирующей силовое воздействие высокоскоростного поезда на путь.

а



б



в



Рис. 20.22. Выправочно-подбивочно-рихтовочная машина Duomatic 09-32 CSM: а — общий вид; б и в — рабочие органы. Австрия

а



б

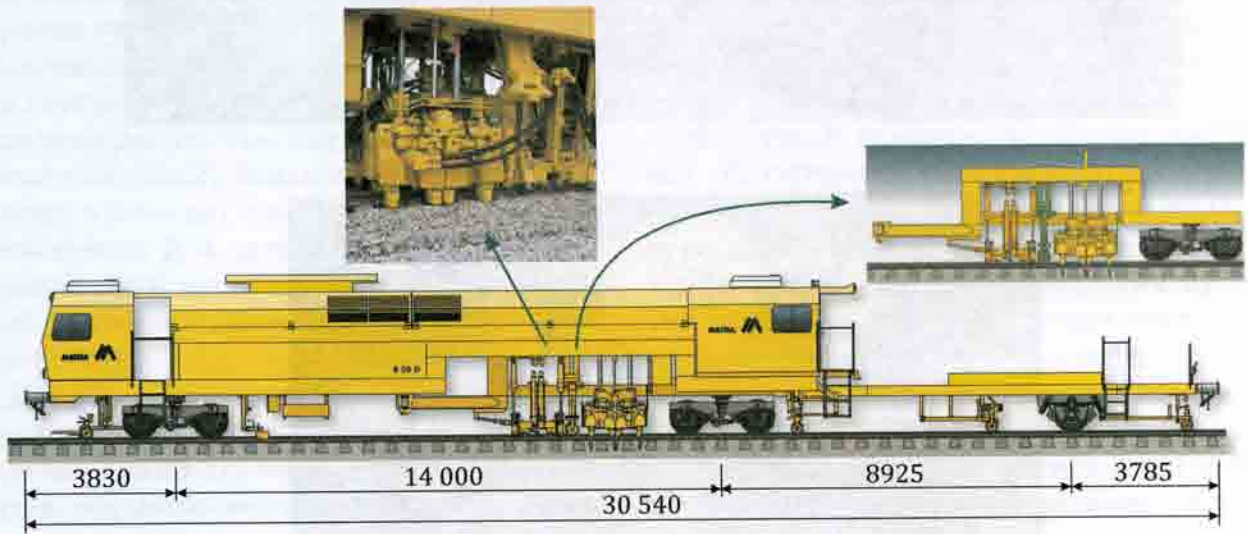


Рис. 20.23. Шпалоподбивочная машина В-50D для подбивки балласта на стрелочных переходах: а — общий вид; б — схема расположения рабочих органов. Компания MATISA, Швейцария

При любых конструкциях пути (на балласте и плитном основании) в процессе эксплуатации происходят вертикальный и боковой износ рельсов, появляются наклепы, волнообразный износ и другие дефекты головки рельса. Нарушение формы поверхности катания головок рельсов приводит к повышению сопротивления движению поездов, увеличению шума и высокочастотных вибраций, что особенно нежелательно при скоростном и высокоскоростном движении.

Периодическое восстановление профиля поверхности катания головок рельсов производится путем обработки их абразивными инструментами с помощью рельсо-

шлифовальных станков, вагонов и поездов. В случае необходимости обработки небольших поверхностей рельсов, например, после их сварки, применяют рельсошлифовальные станки и машинки, имеющие привод от электрического или бензинового двигателя, который могут переносить работники или передвигать по рельсам на опорах и колесах (рис. 20.24).

Шлифовку рельсов на большом протяжении выполняют с помощью рельсошлифовальных вагонов или поездов, включающих несколько вагонов со шлифовальным оборудованием и, как правило, имеющих собственную автономную тягу от дизель-генераторных установок. Первые рельсо-

шлифовальные вагоны представляли собой обычные грузовые вагоны, приводимые в движение локомотивами. На вагонах размещались устройства в виде шлифовальных камней специального профиля, которые ручным механическим приводом или с помощью пневматических цилиндров переводились в рабочее или транспортное положение: прижимались во время движения к поверхности головки рельса и стачивали металл или отводились от нее. В вагоне имелась цистерна с водой, которая во время рабочего цикла непрерывно подавалась в зону контакта с рельсом шлифовального камня для его охлаждения. Шлифование велось на скорости движения 5—10 км/ч и для достижения необходимого результата требовалось многократное прохождение шлифовального вагона по одному и тому же участку.

Современные рельсошлифовальные вагоны и поезда, как правило, имеют шлифовальные головки с вращающимися камнями, управление положением которых осуществляется сервоприводами по команде компьютеров в соответствии с заложенной программой. Одним из ведущих мировых производителей рельсошлифовального оборудования, включая специальные вагоны и поезда, является швейцарская корпорация Speno International SA, специализирующаяся на разработке и производстве пу-



Рис. 20.24. Рельсошлифовальный станок

товых машин для текущего содержания и ремонта железнодорожных путей. Дочерные компании и предприятия расположены в Австралии, Италии и Японии. Российским ОАО «Калужский завод «Ремпутьмаш» при участии этой компании освоено производство самоходного рельсошлифовального поезда РШП-48 (рис. 20.25). Поезд состоит из тягово-энергетической секции мощностью 1298 кВт, обеспечивающей движение машины в транспортном и рабочем режимах, а также электропитание приводов шлифовальных шпинделей, и трех шлифу-

а



б



Рис. 20.25. Рельсошлифовальный поезд РШП-48: а — во время работы; б — шлифовальные головки. Россия («Ремпутьмаш»), Швейцария («Speno Sa»)

ющих секций. Шлифовальные тележки, расположенные в нижней части секций попарно над каждой рельсовой нитью, включают шлифовальные шпиндели, состоящие из вращающегося абразивного круга и приводного электродвигателя. Абразивные круги располагаются под разными углами к поверхности головки рельса в соответствии с требованиями к ее профилю. РШП-48 имеет 48 шлифовальных шпинделей, по 24 на каждую рельсовую нить, и высокоточную электронную систему измерения. Скорость движения в рабочем режиме 4—8 км/ч. За один проход поезда по рельсам со скоростью 5 км/ч достигается съем металла 0,2 мм.

Рельсошлифовальный поезд RR-40MF2 швейцарской компании «Sren» оснащен шлифовальными тележками, имеющими повышенную производительность при высоком качестве работ, обеспечиваемом лазерной системой измерения, от которой оператор получает сведения о количестве снимаемого металла, необходимо для получения требуемого профиля головки рельсов.

Обычно используется сцепка из двух поездов, что повышает производительность до 25 км пути в смену. Скорость движения рельсошлифовальных поездов в процессе работы составляет 6 — 8 км/ч. Для выполнения необходимой работы на протяженных участках требуются продолжительные перерывы движения поездов.

Задачу увеличения производительности и скорости движения рельсошлифовальных поездов в рабочем положении решают инженеры и ученые многих стран. В этом направлении ведут работы такие немецкие компании, как Schweerbau GmbH, Vossloh Rail Services GmbH и Stahlberg Roensch GmbH & Co. KG. Последняя, по сообщениям прессы, создала рельсошлифовальный поезд HSG RC-01, включающий 4 вагона и имеющий шлифовальные установки из 96 камней. По новой технологии высокоскоростного шлифования¹ поезд может работать на скорости до 100 км/ч (рис. 20.26).

¹ От англ.: High Speed Grinding — HSG — высокоскоростное шлифование.

По мнению ряда специалистов именно наличие двух видов работ при обслуживании пути на балласте — поддержание проектных параметров балластного слоя, включая его очистку, полную или частичную замену, а также регулярная выправка пути, требующие больших затрат труда, энергии и, естественно, денежных средств, делает безбалластные конструкции пути более экономичным в процессе эксплуатации. На это обращалось внимание в 6 главе настоящего пособия. Приведем также данные японских специалистов о соотношении эксплуатационных расходов на два вида путевых конструкций (рис. 20.27), из которых следует экономическая эффективность эксплуатации безбалластных конструкций пути.

Между тем, пока нет достаточно полных данных (подтвержденных многолетней практикой) надежности работы безбалластного пути в условиях сурового климата с большими перепадами годовых и суточных температур (северо-западные, центральные регионы России, Сибирь). Обширная информация, подтверждающая надежность, эффективность и экономическую целесообразность плитных и аналогичных им конструкций, относится к регионам с умеренным климатом: Германия, Япония, Нидерланды, центральные, южные и юго-восточные районы КНР. Результаты эксплуатации небольших опытных участков пути на плитном основании в России, в частности, на главном ходу Октябрьской магистрали — линии Санкт-Петербург — Москва в зимний период пока не принесли убедительных доводов «за» или «против» этой конструкции. Исследования российских ученых и инженеров в содружестве с зарубежными специалистами продолжаются.

В то же время, опыт эксплуатации французских ВСМ Париж — Лион и Париж — Атлантическое побережье, испанских ВСМ показал, что при высоком качестве строительства, надежной эксплуатации технических устройств традиционная конструкция пути на балласте удовлетворяет необходимым требованиям. После пропуска 250—300 млн т брутто на линии Париж — Лион была произведена частичная замена бал-

а



б

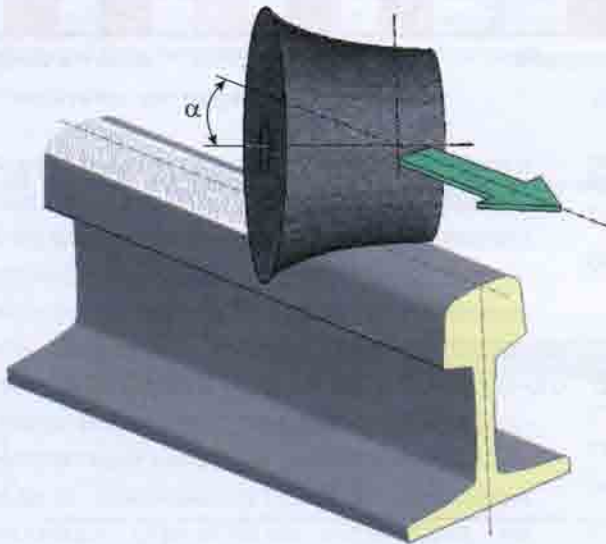


Рис. 20.26. Шлифовальный поезд HSG RC-01: а — во время работы; б — схематическое изображение технической идеи движения шлифовального камня в процессе работы

ласта, а после пропуска 500—600 млн т брутто — сплошная смена рельсов и креплений. По состоянию шпал реконструкция пути планируется примерно через 50 лет после начала эксплуатации дороги.

Основной целью капитального ремонта пути является сплошная замена отслуживших свой срок рельсов. Для обеспечения нормальной работы новых рельсов производится обновление подрельсового основания, балластного слоя, ремонт земляного полотна. На высокоскоростных дорогах Японии и Франции сплошная замена рельсов производится после пропуска по ним 500—600 млн т брутто. Смена рельсо-

вых плетей на ВСМ Японии производится в ночные «окна» с помощью специального комплекса машин. Одновременно меняются обе рельсовых плети длиной по 1,5 или 2 км (рис. 20.28). На обочине пути размещают заготовленные на рельсосварочной базе рельсовые плети длиной 200 м, сваренные из поставляемых промышленностью рельсов стандартной длины (25 или 50 м). Сваркой их соединяют в плети установленной длины (1,5 или 2 км). С помощью машины на рельсовом ходу осуществляется демонтаж и укладка на обочину отслуживших срок рельсовых плетей, на шпалы или плитное основание укладывают новые

Затраты
в тысячах долларов США
за один год на 1 км

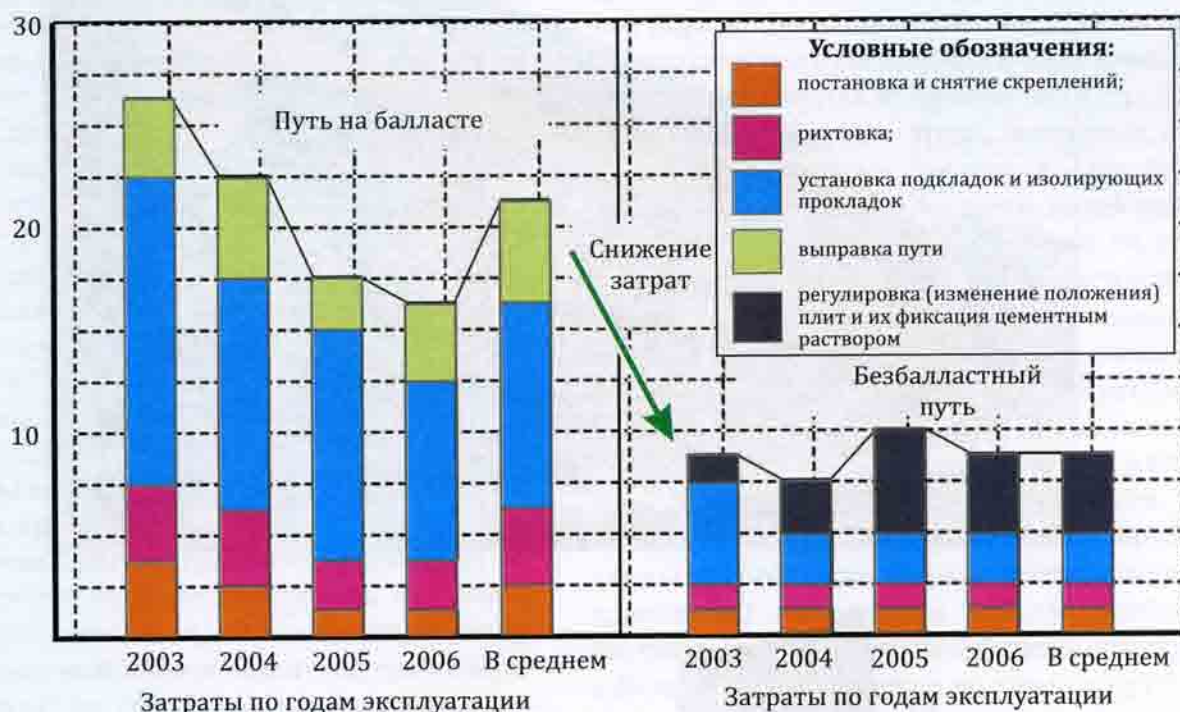


Рис. 20.27. Соотношение затрат на текущий ремонт пути на ВСМ разного типа (по данным Восточной японской железнодорожной компании)

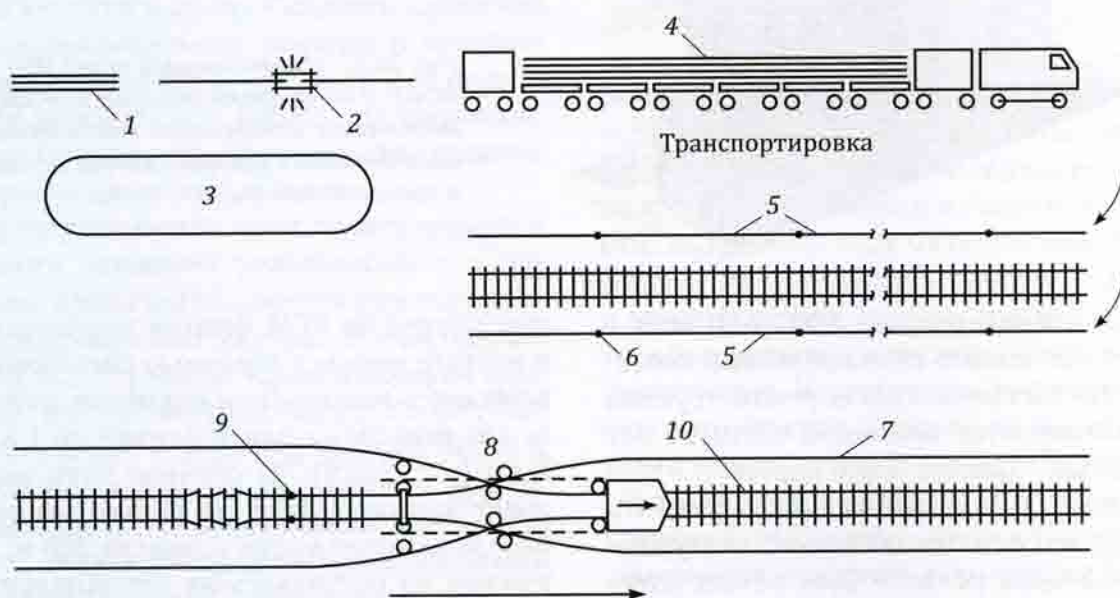


Рис. 20.28. Последовательность операций при сплошной замене рельсов: 1 — рельсы длиной 25 или 50 м, поступающие с завода; 2 — сварка рельсов в плиты длиной 200 м на рельсосварочной базе 3; 4 — транспортировка плит длиной 200 м к месту укладки, раскладка на обочине; 5, 6 — сварка рельсов на месте укладки в плиты длиной 1,5 или 2 км; 7 — новые рельсовые плиты в процессе укладки; 8 — машина для замены рельсовых нитей; 9 — путь из новых рельсов; 10 — путь из старых рельсов

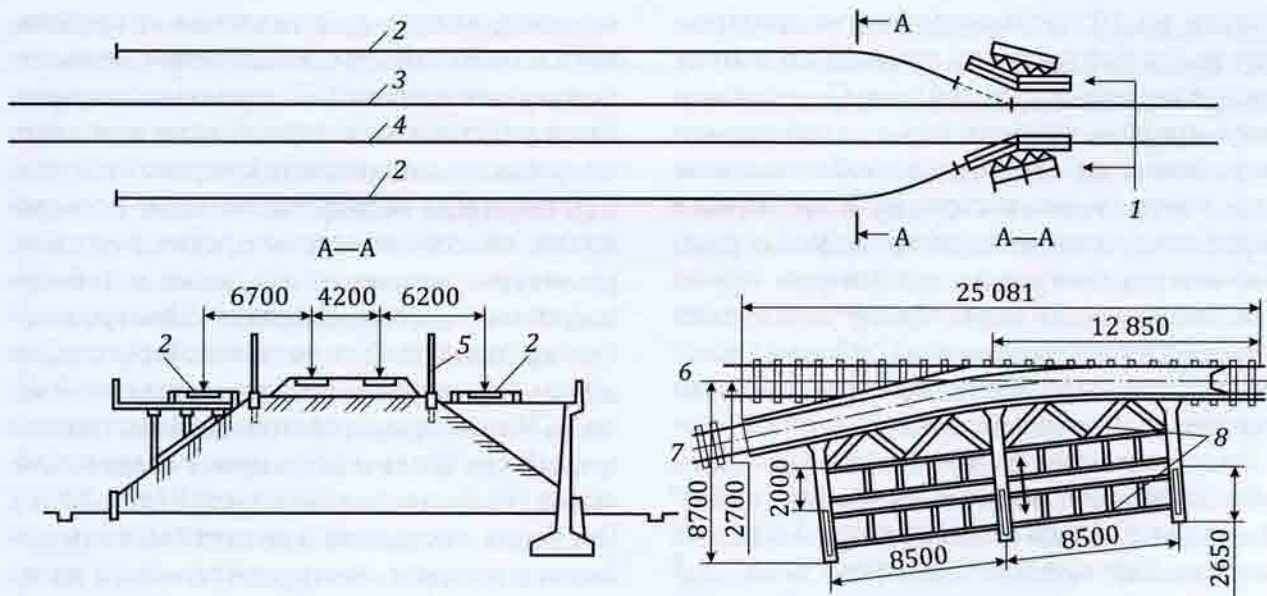


Рис. 20.29. Схема устройства для выезда путевых машин на главный путь: 1 — временные накладные стрелочные переводы; 2 — боковые пути для подачи путевых машин с базы; 3 — нечетный главный путь; 4 — четный главный путь; 5 — звукопоглощающая защитная стенка; 6 — главный путь; 7 — боковой путь; 8 — элементы механизма перевода

рельсовые плети. Машина автоматически освобождает старые рельсы от креплений и прикрепляет новыми креплениями к шпалам новые рельсы.

Говоря о размещении техники, обслуживающей инфраструктуру ВСМ, интересно обратиться к опыту японских железнодорожников. Во многих случаях на ВСМ Японии ремонтные машины размещают на базах вблизи главных путей с устройством специальных стрелочных переводов, не нарушающих целостности рельсовых нитей. Вместо обычных стрелочных переводов для движения путевых машин на главные пути (и обратно) применяется несложное устройство автоматического действия с накладными стрелочными острьями П-образной формы (рис. 20.29). Такое техническое решение позволяет размещать необходимую путевую технику непосредственно вблизи мест работы, что сокращает время на ее транспортировку. Очень важно, что при этом избегают разрывов главных путей для устройства постоянных стрелочных переводов, что повышает эксплуатационную надежность и уровень безопасности в узле.

20.4. Обслуживание систем электроснабжения и контактной сети

На высокоскоростных железнодорожных магистралях эксплуатируются тяговые подстанции с аппаратурой высокой надежности, управляемые с центрального поста, работающие, как правило, в автоматическом режиме (без дежурного персонала).

В наибольшей степени износу подвержены высоковольтные контакторы и переключатели, обслуживание и замена которых производится в соответствии с регламентом предприятия-изготовителя так же, как и тяговых трансформаторов.

Контактная сеть высокоскоростных магистралей требует пристального контроля, регулярного обслуживания и регулировки. Контактный провод истирается, соприкасаясь с движущимися токоприемниками. Износ контактного провода зависит, прежде всего, от скорости и интенсивности движения поездов, а также величины нажатия токоприемника и типа применяемых вставок. Так, по нормативам японских линий Син-

кансэн на 10 тыс. проходов токоприемников износ контактного провода по высоте составляет примерно 0,01 мм. Скорость износа провода повышается в узлах секционирования, где требуется особо тщательный контроль его состояния. На участках с ослаблением натяжения провода и с ухудшением параметров подвески также возможен повышенный износ. Ввиду увеличения опасности обрывов провода на таких участках тщательный контроль состояния контактного провода обязателен.

При скорости движения поезда более 200 км/ч под влиянием вибрации, возникающей от воздействия токоприемников в нормальной эксплуатации (как непосредственный контакт, так и аэродинамическое взаимодействие) и, особенно, при образовании на проводах наледи, возникает ослабление креплений, возможны изломы элементов контактной подвески. Вибрации контактной подвески неизбежны и при ветровых нагрузках. В результате, при разбалансировке, потере должных параметров регулировки элементов подвески (по высоте, натяжению и т.д.), может возникнуть усиленная вибрация, в том числе резонансные

явления, вплоть до появления сверхбольших колебаний (так называемая «пляска» контактного провода), чреватых разрушением участков контактной сети или токоприемников подвижного состава.

Несмотря на ведущиеся научные исследования, опытно-конструкторские разработки, направленные на создание все более надежных систем передачи электроэнергии на движущийся подвижной состав, залогом безотказной работы контактной сети ВСМ является ее постоянный систематический контроль и регулировка всех входящих в нее составляющих частей (рис. 20.30). Проверка состояния контактной сети ведется методами инструментального контроля, прежде всего на базе специализированных измерительно-инспекционных вагонов, как правило, в составе инспекционных поездов.

В Японии не реже двух раз в год инспекционными поездами производится оценка взаимодействия токоприемников и контактного провода; не реже одного раза в год во время инспекционной поездки проводится контроль степени износа контактного провода. В процессе инспекционной



Рис. 20.30. Регулировка положения контактного провода на ВСМ. Франция

поездки повышение внимание уделяется условиям прохода токоприемниками мест сопряжения анкерных участков, воздушных стрелок и тому подобных мест особого взаимодействия провода и токоприемника, фиксируется наличие искровых разрядов при проследовании этих участков.

Динамические характеристики системы электроснабжения проверяются с помощью аппаратуры специальных вагонов, входящих в состав инспекционного поезда. На линиях Синкансэн, например, такие поезда проходят с периодичностью один раз в 7—10 суток. Контроль работы токоприемников и необходимые измерения производятся при максимальной скорости движения, установленной для данной магистрали.

Как правило, аппаратура измерительных вагонов инспекционного поезда фиксирует следующие параметры контактного провода: высоту подвески, диапазон высот подвешивания, уклоны контактного провода и величину изменения этих уклонов, отклонения (зигзаг) контактного провода, величину износа контактного провода (остаточная величина диаметра). Так же обнаруживаются и фиксируются места повышенной жесткости подвески. Непосредственно в режиме текущего времени операторы изучают состояние подвески, сопоставляя показания приборов с данными визуального контроля. При обнаружении каких-либо отклонений от принятых нормативов немедленно передается соответствующее сообщение в центр управления, на основе которого принимаются надлежащие меры. Результаты измерений переводятся в цифровую форму и автоматически записываются в базу данных инспекционного поезда, затем передаются в центр управления, и на ее основе уточняются планы технического обслуживания.

До недавнего времени остаточную величину диаметра контактного провода измеряли с помощью механических систем, состоявших из измерительных роликов и стержней, прижимавшихся штангой, укрепленной на крыше инспекционного вагона, к измеряемому проводу. Эти конструк-

ции позволяли проводить измерения только на малой скорости и имели большую величину погрешности. В настоящее время применяют лазерные измерительные системы, обеспечивающие высокую точность измерения и дающие возможность замерять истинное сечение контактного провода при скорости движения инспекционного поезда до 270 км/ч через каждые 5 см длины. На *рис. 20.31* приведено схематическое изображение такого устройства, применяемого на японских инспекционных поездах.

Принцип действия измерителя состоит в следующем. Луч света от твердотельного лазера 13 через систему призм и зеркал 1, 2, 3, 11, 12 и электронный затвор 4 направляется на контактный провод 5. Совместным действием вращающегося с постоянной частотой зеркала 7 и затвора 4 обеспечивается движение лазерного луча, сканирующего участок контактного провода в направлении, указанном стрелкой 6. При скорости 270 км/ч обеспечивается сканирование провода с интервалом в 5 см. Отразившийся от плоской поверхности соприкосновения контактного провода и токоприемника луч лазера возвращается с обратной стороны на полупрозрачное зеркало 11 и, пройдя через интерференционный фильтр, защищающий от возможной засветки солнечными лучами, попадает на фотоумножитель. Полученный от него сигнал переводится компьютером в цифровую форму и пересчитывается в промежуточную величину ширины поверхности соприкосновения контактного провода, и в определяемую остаточную величину его диаметра, что и фиксируется в привязке к координатам конкретного места измерения и хранится в данных контрольно-измерительной поездки.

На ВСМ Токио — Осака («Токайдо») протяженностью 515 км ежегодно производится замена примерно 450 км контактного провода. Частичная замена контактного провода на относительно небольших по протяженности участках оказывается неэффективной на ВСМ, так как в этом случае подвеска на участке с новым проводом будет более жесткой по сравнению со смежными участками, что ухудшает условия токосъе-

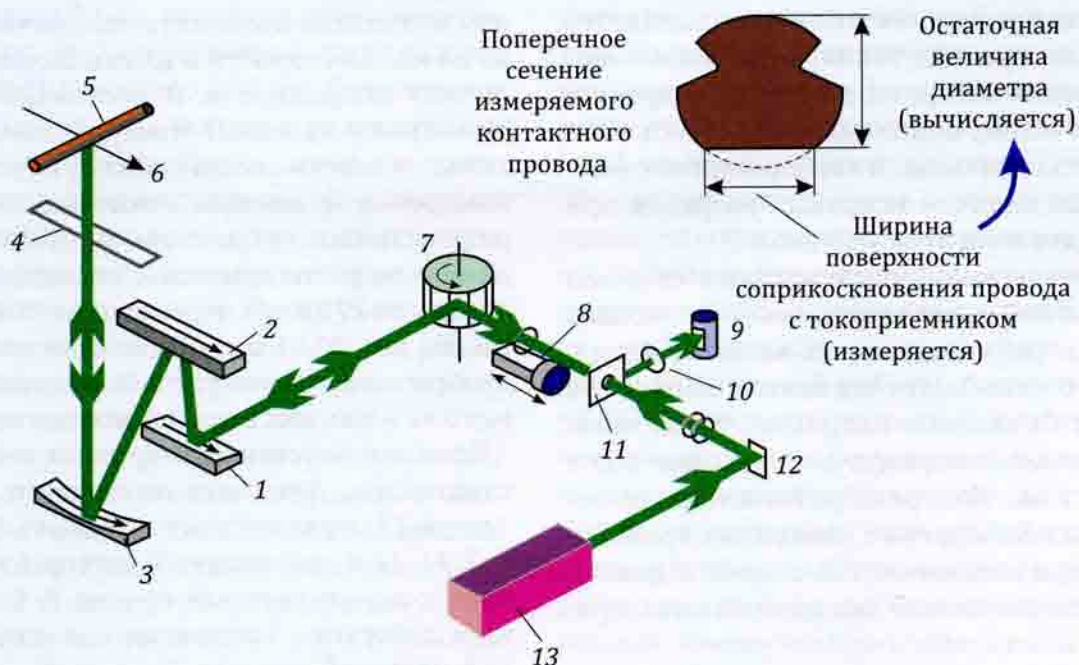


Рис. 20.31. Лазерный измеритель величины остаточного диаметра контактного провода: 1, 2, 3 — соответственно, первое, второе и третье зеркала; 4 — затвор лазерного луча; 5 — измеряемый контактный провод; 6 — направление сканирования лазерным лучом; 7 — вращающееся зеркало; 8 — корректор положения лазерного луча в зависимости от высоты контактного провода в данном месте; 9 — фотоумножитель; 10 — интерференционный фильтр защиты от солнечных лучей; 11 — полупрозрачное зеркало; 12 — поворотная призма; 13 — твердотельный лазер, генерирующий излучение

ма. Исходя из этого, как правило, предусматривается, комплексная замена.

В настоящее время технологические приемы работ по замене контактного провода основываются на широком использовании специализированных машин, оборудования, квалифицированного персонала и принципиально не отличаются от организации строительно-монтажных работ при электрификации ВСМ. На линиях Синкансэн технологический процесс работ по замене контактного провода на анкерном участке выполняется в ночное время, в ограниченный период времени и с высокой точностью. Все работы по съемке и уборке старого провода, навеске и натяжению нового завершаются за 3 ч рабочего времени. Комплекс работ выполняется средствами специального поезда, при этом равномерность натяжения контактного провода обеспечивается специальными механизмами.

20.5. Опыт осуществления контроля состояния и обслуживания пути при организации скоростного движения на железных дорогах России

На железных дорогах нашей страны, начиная с 20-х годов XX столетия, наблюдается регулярное использование путеизмерительных вагонов. С середины XX в. формируется еще одно важное направления контроля и диагностики состояния устройств на железнодорожном транспорте — неразрушающие методы контроля целостности и работоспособности сооружений и их ответственных деталей и узлов — прежде всего рельсового пути. Одними из первых разработчиков в этой области, в частности, в области ультразвуковой дефектоскопии рельсов, в нашей стране были специалисты Ленинградского института инжене-

ров железнодорожного транспорта под руководством сотрудника НИИ мостов этого института, ныне профессора, А.К. Гурвича. В 1956—1966 гг. были созданы основы методологии и стандартизации ультразвукового контроля, разработаны специализированные ультразвуковые дефектоскопы для контроля рельсов в пути, сварных стыков рельсов и сварных соединений в мостах, на локомотивах, вагонах, не имеющих аналогов за рубежом. В 60-е годы на дороги нашей страны поступили 25 тыс. дефектоскопов 14 типов.

На начальном этапе развития скоростного движения в нашей стране (скорость до 160 км/ч, позже до 200 км/ч) на линии Ленинград — Москва необходимые работы по мониторингу состояния основных параметров рельсового пути выполнялись с помощью путеизмерительных вагонов системы ЦНИИ (позже — ЦНИИ-2).

Путеизмерительный вагон ЦНИИ-2 использовался для оценки качества содержания пути и, в какой-то мере — для оперативного контроля его состояния. Оборудование этого вагона обеспечивает измерение ширины колеи, взаимного положения рельсовых нитей по уровню, стрел изгиба в плане и просадок обеих рельсовых нитей. Проверка состояния пути этим вагоном проводится на скорости до 100 км/ч.

Измерительный механизм вагона состоит из трех главных частей:

- устройства, контактирующего с рельсами (датчика);
- устройства, суммирующего измеряемые величины и передающего результат регистрирующему прибору;
- общего для всех механизмов регистрирующего устройства, которым результаты измерения записываются на двух бумажных лентах (подлиннике и дубликате).

Основным недостатком такого путеизмерителя является большая инертность механической системы, поскольку для передачи измеряемых параметров используются тросы и блоки.

В 1993 г. в России началась реализация концепции новой системы измерений параметров железнодорожного пути в рамках

Государственной программы по повышению безопасности движения на железнодорожном транспорте. Исходя из нее на железных дорогах страны были модернизированы путеизмерительные вагоны ЦНИИ-2, на которых вместо трособлочной системы были установлены бортовые автоматизированные системы (БАС) регистрации и компьютерной обработки информации о состоянии пути. Система разработана научно-производственным центром информационных и транспортных систем (НПЦ «Инфотранс», г. Самара).

Модернизированная аппаратура путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 выполняет:

- измерение, расшифровку параметров и оценку состояния рельсовой колеи;
- регистрацию результатов обработки;
- ведение базы данных о паспортных характеристиках пути и административно-территориальном делении дистанции пути, а также базы данных результатов оценки состояния рельсовой колеи.

В 1995 г. выпущен первый серийный путеизмерительный вагон типа ЦНИИ-4, предназначенный для оценки состояния пути. Благодаря бесконтактному способу измерений аппаратура вагона способна контролировать в три раза больше параметров по сравнению с вагоном ЦНИИ-2 на скорости движения до 160 км/ч. Результаты измерений регистрируются в компьютере и сохраняются на магнитном носителе, что позволяет дополнительно анализировать их после поездки непосредственно в вагоне или в подразделениях путевого хозяйства.

В последние годы с привлечением ряда исследовательских институтов, групп, компаний, в том числе и пришедших из оборонного комплекса, созданы новые дефектоскопные и путеизмерительные вагоны «Декарт», «Интеграл» и другие, значительно приближающиеся по своим параметрам к лучшим зарубежным аналогам. В настоящее время на российских железных дорогах используются ультразвуковые, магнитные и совмещенные вагоны-дефектоскопы, дефектоскопные ультразвуковые автотрисы, съемные ультразвуковые и магнитные те-



Рис. 20.32. Диагностический комплекс «Интеграл». Россия

лежки. Проверка главных путей осуществляется один раз в месяц или два раза в квартал.

Диагностический комплекс автоматизированной оценки состояния технических объектов инфраструктуры «Интеграл» (рис. 20.32) создан международной группой компаний (центральный офис в Москве) ТВЕМА. На основе новейших технологий и с привлечением ведущих научных организаций «Интеграл» оснащен аппаратурой, которая осуществляет комплексную проверку и оценку состояния технических объектов железнодорожной инфраструктуры, связанных с обеспечением безопасности движения поездов.

Комплекс обеспечивает проверку объектов всех входящих в железнодорожную инфраструктуру хозяйств — пути, автоматики, телемеханики и связи, электрификации и электроснабжения. Кроме того, комплекс оборудован автоматизированной системой георадиолокации земляного полотна и системой визуального обнаружения дефектов. Эти системы в настоящее время не имеют аналогов на железных дорогах России и стран СНГ.

На единственной в России скоростной линии Санкт-Петербург — Москва, на отдельных участках которой осуществляется движение со скоростью до 250 км/ч, используются путеизмерительные вагоны КВЛ-П1, КВЛ-П1МП и ЦНИИ-4, с которых

проводится контроль состояния пути два раза в месяц.

Путеизмерительные вагоны последнего поколения имеют в составе измерительных устройств бесплатформенную инерциальную навигационную систему на лазерных гироскопах¹, которая выдает информацию об угловом положении кузова вагона. Эта система позволяет определить продольный уклон и уровень пути с требуемой точностью. Одним из направлений совершенствования бесплатформенной инерциальной навигационной системы является ее разработка на волоконно-оптических гироскопах² и микромеханических инерциальных датчиках.

На Октябрьской железной дороге для контроля состояния пути и сооружений, подготовки базы данных для текущего и перспективного планирования ремонта пути был создан Центр диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры, являющийся структурным подразделением Ок-

¹ Лазерный гироскоп — оптический прибор для измерения угловой скорости, обычно применяется в системах инерциальной навигации.

² Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ) — оптико-электронный прибор, измеряющий абсолютную (относительно инерциального пространства) угловую скорость. Как и у всех оптических гироскопов, луч света в волоконно-оптическом гироскопе проходит через катушку оптоволокна (эффект Саньяка). Для повышения чувствительности гироскопа используют световод большой длины (порядка 1000 м), уложенный витками.

тябрьской дирекции инфраструктуры. Этот центр координирует работу семи путеизмерительных вагонов системы КВЛ-П1, КВЛ-П1МП и одного скоростного путеизмерительного вагона системы ЦНИИ-4. Путеизмерители КВЛ-П проверяют ширину колеи, положение рельсовых нитей по уровню и в плане, вертикальные просадки пути. Расшифровка измерительной ленты и оценка состояния пути производятся бортовыми автоматизированными системами. Более совершенный скоростной путеизмеритель ЦНИИ-4 с лазерным съемом информации, кроме перечисленных параметров, выявляет наличие неровностей на относительно коротких отрезках поверхности катания головки рельсов и их боковой износ, а также фиксирует продольный профиль пути.

Контроль состояния рельсов ведется с двух ультразвуковых дефектоскопных вагонов и трех вагонов с магнитными датчиками, из которых один — с совмещенными искательными устройствами. Используются также измерительные автомотрисы с ультразвуковым контрольным оборудованием. Все дефектоскопные вагоны и автомотрисы оснащены программно-вычислительными комплексами, имеющими постоянно обновляемую базу данных. Это позволяет сравнивать полученные результаты с результатами предыдущих обследований и использовать их для определения произошедших изменений.

В последнее годы разработаны малогабаритные системы диагностики рельсового пути, устанавливаемые на буксовый узел вагона, не требующие присутствия специально обученного персонала. Использование таких систем на подвижном составе даст возможность оперативной оценки текущего состояния пути и при необходимости назначения первоочередных работ.

Для диагностики состояния грунтов, лежащих земляное полотно, в основном используются инженерно-геологические и геофизические методы. С 1997 г. на линии Санкт-Петербург — Москва для диагностики состояния земляного полотна и оценки качества основания железнодорожного пути проводятся нагрузочные испытания

с применением передвижной лаборатории инженерно-геологического обследования. При этом определяют деформативные характеристики земляного полотна и железнодорожного пути в целом. Специальные устройства измерительного вагона-лаборатории создают заданную тарированную нагрузку на путь, а измерительно-вычислительный комплекс фиксирует возникающие при этом деформации земляного полотна. Скорость движения вагона-лаборатории при нагрузочных испытаниях составляет 6—8 км/ч. Нагружение может производиться как одной осью вагона, что менее предпочтительно, так и двумя. На ось создается нагрузка 10—30 тс.

К геодезическим методам относятся сейсмические, электрометрические, георадиолационный, вибрационный, которые основаны на исследовании физических полей грунтов земляного полотна и основания. Геофизические методы устанавливают закономерности изменения и неоднородности физических полей грунтов без нарушения целостности объекта обследования и структуры грунта, имеют высокую производительность и эффективность при сочетании с традиционными инженерно-геологическими методами.

Россия пока не имеет опыта строительства и эксплуатации высокоскоростных железнодорожных магистралей, нет комплексной инспекционно-измерительной техники (вагонов, поездов), предназначенной для регулярной работы на скорости 250 км/ч и более. В процессе проектирования будущих российских высокоскоростных магистралей предстоит тщательно изучить зарубежный опыт, создать или приобрести необходимую технику.

При разработке систем технического обслуживания пути ВСМ России следует использовать зарубежный и отечественный опыт эксплуатации линии Санкт-Петербург — Москва. Техническое обслуживание и ремонт пути на этой линии осуществляется на основе новой системы ведения путевого хозяйства ОАО «РЖД». Планирование ремонтов пути (перспективное планирование на 5—6 лет; среднесрочное на 2—3

года и текущее планирование) и работ текущего содержания (сезонное и месячное на 1—6 месяцев, оперативное от полумесяца до 1 месяца и ежедневное) регламентируется Положением о системе ведения путевого хозяйства ОАО «РЖД».

Планирование путевых работ выполняется на основе анализа исходных данных о техническом состоянии пути с последующим прогнозированием изменения этого состояния на будущие периоды, с экономической оценкой предлагаемых решений

и выбором оптимального варианта технического обслуживания пути с учетом его возможного влияния на степень надежности работы устройств и затрат других хозяйств.

Полнота и достоверность исходных данных определяет конечный итог: безопасность движения, обеспечение установленной скорости и объемов перевозок при оптимальных затратах на текущее содержание и ремонт пути.

Глава 21

Организация обслуживания и ремонта высокоскоростного подвижного состава¹

21.1. Контрольно-диагностические комплексы для оценки состояния подвижного состава в движении

Принципы, методы организации и технология обслуживания высокоскоростного подвижного состава в разных странах (Германия, Испания, Италия, Франция, Япония и др.) весьма схожи. Обязательным компонентом обслуживания высокоскоростного подвижного состава является диагностика его состояния, которая, как правило, ведется с применением двух систем: внутренних — приборов, устройств, контрольных комплексов, расположенных на самом подвижном составе, и внешних, установленных на различных участках пути, на станциях и в депо.

В систему внутренней диагностики входят датчики контроля состояния жизненно важных элементов локомотивов и пассажирских (в том числе моторных) вагонов: буксовых узлов, ходовых частей, тягового оборудования, противоюзных устройств, систем электроснабжения (генераторов, аккумуляторов) и жизнеобеспечения пассажиров, включая кондиционеры, санитарно-гигиеническое оборудование и др.

Внешняя диагностика подвижного состава в процессе движения предполагает на-

личие стационарных контрольно-диагностических комплексов (КДК), устанавливаемых вблизи железнодорожного пути в определенных местах, — как правило, перед станциями. В условиях высокоскоростного движения особое значение приобретает:

- контроль нагрева буксовых узлов;
- выявление заторможенных, заклиненных колесных пар;
- установление дефектов колесных пар (ползунов, кольцевой выработки на поверхности катания, уменьшения толщины обода колеса, подреза гребней), проверка разности диаметров колес одной колесной пары и толщины гребней колес;
- выявление шумов, несвойственных исправному подвижному составу;
- фиксация поперечных ускорений, превышающих установленную норму;
- проверка габарита подвижного состава (выявление деталей, выступающих за габарит и волоочащихся за подвижным составом).

В случаях превышения допустимого уровня какого-либо из параметров формируется команда на остановку поезда с помощью устройств СЦБ, либо об этом информируются лица, причастные к управлению движением поезда. Персоналу сообщается о виде неисправности и месторасположении ее в поезде, степени опасности для принятия

¹ В главе использованы материалы совместных публикаций авторов с Г.В. Левковым.

а



б



Рис. 21.1. Участок контроля состояния колесных пар депо высокоскоростных поездов Берлин-Руммельсбург: а — общий вид; б — блок датчиков контроля состояния и геометрических параметров колесных пар. Германия. 2012 г.

решения об остановке поезда или снижении скорости его движения, необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ.

На ВСМ ведется постоянная централизованная обработка и накопление информации о контролируемых характеристиках подвижного состава для планирования ремонтных работ. Для этого на поездах, движущихся по расписанию, установлены приборы; например, в Японии на части обращающихся по ВСМ поездов находятся устройства, непрерывно измеряющие и записывающие ускорения (вертикальные и горизонтальные — продольные и поперечные), возникающие на уровне буксового узла и пола пассажирских вагонов, с привязкой ко времени и координатам пути. Ежедневно после возвращения поездов в депо эти данные передаются в единый центр управления ВСМ, анализируются и соотносятся с данными полученными из других источников. Так выявляются отклонения от нормативных параметров, как устройств пути, так и подвижного состава.

Система внешней диагностики состояния буксовых узлов, как правило, включает две подсистемы — тепловую и акустическую. Тепловая подсистема фиксирует с помощью датчиков температуру нагрева корпуса буксы. Акустическая подсистема анализирует спектр шумов, издаваемых элементами буксового узла. По данным о температуре, спектре и интенсивности шума определяется степень развития дефекта. Централизованное отслеживание температуры и спектра шума позволяет отличить рабочий нагрев подшипников от аварийного.

Система выявления заторможенных колесных пар ориентирована на определение неисправности тормозов по степени нагрева обода колеса в зоне контакта его с рельсом, что осуществляется специальными датчиками тепловой подсистемы.

Система определения дефектов колес, как правило, располагается в депо и является одним из элементов входного контроля состояния подвижного состава, прибывающего на техническое обслуживание или ремонт. Предусматривается выявление геометрических неровностей поверхности ка-

тания, вызывающих ударный шум при взаимодействии с рельсом, и измерение геометрических параметров кольцевой выработки, толщины обода, профиля гребня, разности диаметров и толщины гребней каждой колесной пары (рис. 21.1).

В процессе испытания геометрические характеристики колес определяются путем сканирования лазерным лучом их профиля; наличие трещин, ползунов и неравномерного проката выявляется методами ультразвуковой дефектоскопии; акселерометрами, измеряющими величину вибрации рельса.

Использование на ВСМ систем диагностики позволяет:

- осуществлять систематическую проверку ответственных параметров колес, что обеспечивает безопасность движения поездов;

- заменить ручные контрольные операции на автоматические, благодаря чему повышается достоверность результатов измерений и снижаются эксплуатационные затраты;

- создать и постоянно корректировать базу данных о состоянии колес, что обеспечивает возможность проведения вместо планово-предупредительного ремонта ремонтных работ по фактическому состоянию колес, экономить средства, затрачиваемые на эксплуатацию подвижного состава.

21.2. Особенности устройства депо для обслуживания и ремонта высокоскоростного подвижного состава

В странах, имеющих ВСМ, для обслуживания высокоскоростного подвижного состава используются специализированные депо (рис. 21.2) с высококвалифицированным персоналом, должным уровнем технического и технологического оснащения, сопоставимым по ряду характеристик с предприятиями, обслуживающими авиационную технику. Это позволяет добиться необходимого уровня технического обслу-



Рис. 21.2. Депо высокоскоростных поездов TGV Шатильон под Парижем. Франция. 1990 г

живания, сократить непроизводительное время простоя дорогостоящего подвижного состава в депо, и обеспечить пробег высокоскоростных поездов в год до 500 тыс. км, что значительно превышает пробег обычных междугородных поездов.

В целях сокращения времени пребывания поездов в депо многие виды работ по их обслуживанию и ремонту ведутся без расцепки составов. Для этого устраивают смотровые канавы, рассчитанные по длине на весь поезд, оборудованные устройствами для обеспечения удобного и безопасного доступа персонала к различным узлам и деталям вагонов и локомотивов, используются мощные домкраты (рис. 21.3). Применяются также комплексы подъемников, которыми одновременно может быть поднят и безопасно зафиксирован на необходимой высоте поезд целиком (без расцепки вагонов и локомотивов) (рис. 21.4).

Рядом со смотровыми канавами размещают рабочие площадки и эстакады, позволяющие персоналу удобно расположиться с необходимым инструментом и оборудованием на нескольких уровнях (рис. 21.5, 21.6), получая доступ к устройствам, расположенным под локомотивами и вагонами,

на среднем уровне и на крыше (рис. 21.7). Вдоль деповских путей на разных уровнях организуют проезды для передвижения специальных погрузчиков, машин и оборудования, позволяющих максимально механизировать все операции (рис. 21.8).

Как правило, вагоны и локомотивы, вернувшиеся с линии в депо, перед поступлением на участки обслуживания и ремонта, проходят через вагонмоечную машину, на которой производится наружная обмывка кузова, тележек (рис. 21.9). В странах с теплым климатом такие установки могут располагать на открытом воздухе, в районах с суровым климатом устройства для мойки подвижного состава обязательно размещают в строении. В странах с длительными периодами зимних отрицательных температур наружного воздуха и со снежными зимами обязательны помещения для оттаивания снега и льда на подвижном составе, снабженные, как правило, системами обогрева, обдува теплым воздухом, устройствами для сбора и очистки грязной воды, образовавшейся при таянии снега и льда.

Для выполнения ряда трудоемких работ, например, обточки и замены колесных пар, тележек, тяжелых элементов поездного обо-

а



б



Рис. 21.3. Индивидуальные подъемники для подвижного состава в депо: а — вагон поезда серии 300 в депо Хамаматсу, Япония; б — вагон поезда TGV PSE, Франция. 80-е годы XX века



Рис. 21.4. Подъем в депо высокоскоростного поезда целиком без расцепки вагонов: Франция. 90-е годы XX столетия



Рис. 21.5. Смотровая канава и смотровые площадки на разных уровнях в депо высокоскоростных поездов Мюнхена, Германия. 2008 г.



Рис. 21.6. Депо обслуживания высокоскоростных поездов. Испания, 2010 г.

а



б



Рис. 21.7. Обслуживание и ремонт оборудования на крыше вагонов:
а — самодвижущаяся площадка;
б — галерея верхнего уровня.
Депо Мюнхен, Германия 2008 г.



Рис. 21.8. Общий вид депо обслуживания высокоскоростных поездов «Acela». США. 2012 г. (Снято широкоугольным объективом «рыбий глаз», искажающим прямолинейную перспективу)

а



б



Рис. 21.9. Вагономоечная машина депо высокоскоростных поездов: а — вид снаружи; б — внутри. Сеул. Республика Корея. 2008 г.

рудования, например, трансформаторов, без расцепки поездов, в депо устраивают специальные участки, оборудованные необходимыми устройствами, приспособлениями и станками, подъемным оборудованием. На фотографиях показана обработка колесной пары без выкатки (рис. 21.10). При передвижении по рельсам цеха вагон или локомотив устанавливаются над станком так, чтобы колесная пара оказалась в рабочей зоне станка. Рельсовые звенья под колесной парой опускаются, и она оказывается на опорных роликах станка, которые приводятся во вращение электродви-

гателем. В процессе обточки по заданной программе автоматически осуществляется движение резцов, чем достигается необходимый профиль бандажа колеса.

Данные измерений и обследования состояния отдельных узлов, агрегатов и ответственных деталей подвижного состава, собранные в процессе осмотра с использованием различной диагностической аппаратуры, а также информация о проведенном обслуживании, ремонте и т.п., вводятся в автоматизированную систему управления депо и используются для планирования работ. АСУ депо, как правило, являет-

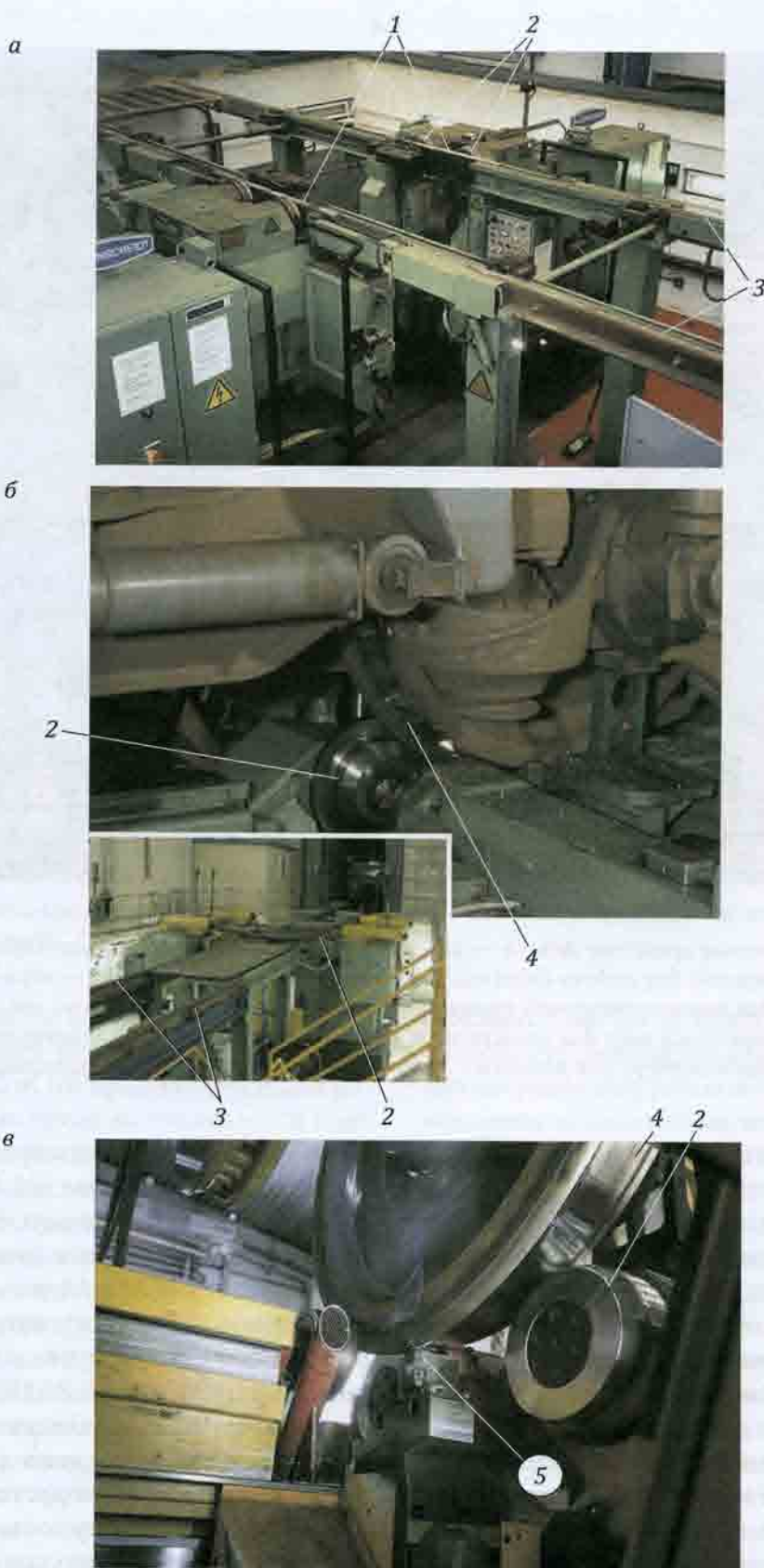


Рис. 21.10. Установка для обточки колесных пар локомотивов или вагонов без выкатки их из-под подвижного состава: а — общий вид; б, в — обточка колесной пары; 1 — рельсовые звенья; 2 — опорные ролики; 3 — рельсы, проложенные в цехе; 4 — колесная пара; 5 — резцы (поезда КТХ в депо Сеул, Южная Корея; «Сапсан» в депо Санкт-Петербург-Московское)

а



б



в



г



Рис. 21.11. Транспортные средства депо: а — радиуправляемая аккумуляторная электротележка с подъемной платформой для подачи деталей, материалов и оборудования; б — передвижная платформа-подъемник для транспортировки крупногабаритных грузов; в — тягач на совмещенном автомобильно-железнодорожном ходу для перестановки ремонтируемых поездов и вагонов; г — платформа-транспортёр (трансбордер) для перевозки локомотивов и вагонов по территории депо

ся подсистемой всей автоматизированной системы управления ВСМ (см. п. 18.2).

Для обеспечения работ по обслуживанию и ремонту поездов депо оснащают механизированными складами, в некоторых случаях — с устройствами автоматического поиска и комплектации необходимых запасных частей и расходных материалов.

В депо имеется транспортное подразделение с подъемными кранами, автомобильным, рельсовым и внутрицеховым транспортом (зачастую, включающем велосипеды и самокаты с корзинами для передвижения персонала) для подачи необходимых материалов, запасных частей, расходных материалов, передвижения вагонов, локомоти-

вов и составов поездов в процессе их обслуживания и ремонта (рис. 21.11).

В качестве примера рассмотрим подробнее специализированное депо для обслуживания поездов ВСМ в Айдельштедте (Германия, вблизи г. Гамбург), вступившее в действие к началу эксплуатации электропоездов ICE в 1991 г. (рис. 21.12). Опыт работы этого депо был впоследствии учтен при разработке проектов депо для поездов ICE в Берлине, Мюнхене и др. городах. Особый интерес к немецкому опыту обслуживания высокоскоростного подвижного состава обоснован использованием в настоящее время в России поездов «Сапсан» производства германской компании Siemens.

а



б

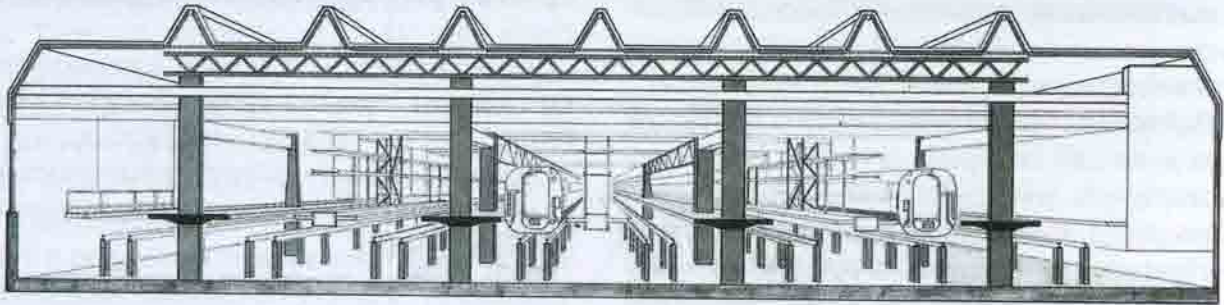


Рис. 21.12. Специализированное депо: а — общий вид; б — схематический чертеж поперечного разреза. Гамбург-Айдельштетт. Германия

Основу комплекса в депо Гамбург-Айдельштетт составляет цех обслуживания площадью 430×65 м. Он предназначен для работы при любых погодных условиях и имеет сквозные параллельные пути, одновременно вмещающие восемь поездов.

Поезда ICE обслуживаются без расцепки, которая производится только во время капитального ремонта на заводе в Нюрнберге. Для технического обслуживания двух электропоездов, расположенных по концам поезда ICE1, предназначены два специальных пролета депо у каждого торца основного цеха, имеющие длину 33 м и высоту 13 м. В них достаточно пространства для мостовых кранов и смотровых площадок для доступа к крышечному оборудованию электропоезда.

Внутри депо рельсы восьми путей укреплены на бетонных колоннах так, что пол

находится на 2,4 м ниже уровня головки рельса. Это позволяет использовать автоматизированные рабочие тележки на пневмоопорах и смотровые платформы на башенных опорах под путями и перемещать их к любой части поезда. Каждый путь с одной стороны имеет обходную платформу для доступа внутрь вагонов и крановый путь с другой стороны для подъема оборудования и доступа к крышам вагонов.

Места размещения стационарного оборудования и 96 терминалов ЭВМ распределены оптимально по длине поезда. Поскольку размещение ремонтного оборудования необходимо было осуществить с большой точностью, то некоторую проблему в процессе проектирования вызвало изменение длины поезда, состоящего из 14 прицепных вагонов и двух локомотивов в пределах 700 мм (для поездов ICE1) при изме-

нении температуры наружного воздуха от -25 до $+30$ °C за счет температурного расширения и сжатия металла кузова.

Каждый поезд проходит ремонт и экипировку по стандартной программе. Заблаговременное оповещение о ремонтных работах обеспечивает действующая в реальном времени диагностическая система David. Она постоянно проверяет все бортовые системы — от управления тяговым оборудованием и тормозами до устройств кондиционирования воздуха и информационных дисплеев для пассажиров. Сообщения обо всех неисправностях передаются в Айдельштедт по сети поездной радиосвязи, чтобы своевременно, к моменту прибытия поезда с выявленными дефектами были подготовлены новые блоки оборудования для замены неисправных.

По прибытии поезд подается в основной цех депо для внутренней очистки вагонов, которая ускоряется благодаря использованию расположенных вблизи каждого вагона желобов для мусора, загружаемого в специальные крытые тележки. Одновременно санитарные тележки с вакуумным оборудованием опорожняют сборные баки туалетов, пополняется запас воды, мыла и полотенец.

Загрузку пищевых продуктов в вагоны-рестораны и буфеты выполняет персонал частной компании, базирующейся в депо. При этом используются контейнеры, содержащие готовые к употреблению наборы продуктов.

Ремонтные рабочие проверяют тормоза и подшипники на каждой оси и тележке, пока осматривается тяговое оборудование и токоприемники электровозов. На текущую проверку устройств затрачивается 60 минут. Для ускорения процесса каждый рабочий имеет магнитную карту, которую он использует для регистрации времени нахождения на борту поезда. После того как все рабочие покинут поезд, центральная ЭВМ проверяет завершенность всех работ по отчетам, считанным с магнитных карт, и дает команду на его отправление.

Периодически поезда проходят расширенное обслуживание, начинающееся с пропус-

ка через установку для наружной мойки. Сливаемая вода перед поступлением в канализацию очищается. После обмывки поезд медленно проходит через установку обнаружения ползунов на колесах. Ультразвуковые и оптические устройства контролируют состояние каждого колеса и передают данные в центральную ЭВМ для анализа, а при необходимости — выдачи команд на ремонт.

В числе специализированного оборудования имеются агрегаты на тележках, предназначенные для замены колесных пар. Эти тележки могут удалять секции рельсов пути, проложенного на колоннах, чтобы снять дефектные колесные пары и установить исправные (без перемещения и расцепки вагонов поезда).

Более тщательный осмотр и периодический ремонт поездов производятся на базе Нюрнбергского ремонтного завода.

Производственное оборудование комплекса рассчитано на проведение следующих основных работ:

- демонтаж и ремонт моторных и сцепных тележек, аккумуляторных батарей, гасителей колебаний, установок кондиционирования воздуха, тормозного оборудования, межвагонных переходов и дверей;
- демонтаж и ремонт токоприемников и вспомогательного оборудования электровозов;
- измерение геометрических параметров вагонов;
- очистка от ржавчины, подготовка поверхностей и окраска кузовов;
- контроль функционирования и проверка состояния тормозных систем вагонов;
- проверка герметичности вагонов;
- высоковольтные электрические испытания вагонов на напряжение 1 кВ постоянного тока и 15 кВ переменного;
- контроль качества слесарных и электротехнических работ;
- контроль состояния автосцепки вагонов;
- комплексная проверка всего состава поезда ICE.

С целью сокращения времени простоя поезда используется агрегатный метод ремон-

та, при котором неисправные элементы и группы демонтируются и сразу заменяются аналогичными годными.

Для электрических испытаний прицепных вагонов на напряжение 1 кВ постоянного тока предназначена передвижная испытательная установка. Аналогичные испытания оборудования электровозов на напряжение 15 кВ переменного тока осуществляются от перемещаемой секции контактной сети, выводимой из рабочего положения при проведении работ на крыше, а также при перестановке поездов.

Два мостовых крана грузоподъемностью по 30 т рассчитаны на подъем вагона в сборе и перемещение его при необходимости на соответствующий производственный участок. Типовой ремонтный цикл предполагает подъемку кузовов с помощью стационарных домкратов после установки поезда на рабочем пути и демонтажа связей кузовов с тележками. После этого тележки выкатывают из-под состава по рельсам, очищают и подают на тележечный участок для проведения соответствующего комплекса работ.

При необходимости восстанавливают профиль поверхности катания колес или осуществляют их замену. Отдельный технологический цикл предусмотрен для буксовых подшипников. Балансировка колесных пар, распрессовка, обточка колес и тормозных дисков (в том числе для моторных тележек), а также расточка ступиц колес производится на специальных станках.

Восстановление наружной окраски вагонов осуществляется в процессе последовательного перемещения их на собственных тележках через следующие рабочие зоны: участок очистки от пыли и подготовки поверхности; окрасочная камера; сушильная камера; участок доводки наружных покрытий и нанесения надписей.

По завершении всех необходимых работ в вагонах состав после пробной обкатки направляется в депо приписки.

Особенностью организации работ в депо приписки Гамбург является:

— концентрация практически всех операций по техническому обслуживанию в

помещении депо с 8-ю путями, за пределами которого находятся лишь установка наружной очистки, стенд для диагностики поверхностей катания колесных пар, установка для обточки колес моторных тележек и пути отстоя;

— все рабочие пути в помещении депо имеют одинаковую длину и рассчитаны на максимальную длину состава, включающего 2 электровоза и 14 прицепных вагонов;

— функциональное разделение операций за счет размещения на различных уровнях по высоте технологических потоков, связанных, с одной стороны, с расстановкой по рабочим путям подвижного состава, а с другой, с перемещением обслуживающего персонала и необходимых для ремонта материалов, запасных частей и заготовок.

Ремонтное оборудование и смотровые площадки для рабочих расположены в депо в трех уровнях: нулевом (уровень головки рельса) нижнем –2,4 м и верхнем +3,8 м, что делает возможным производство большинства работ параллельно без взаимных помех при перемещении обслуживающего персонала и материалов.

Предварительная информация о возникающих на линиях повреждениях и отказах накапливается в бортовых запоминающих устройствах диагностического оборудования поездов и по радиосвязи передается в центральную ЭВМ депо. Это позволяет точно определить объем предстоящих работ и заблаговременно провести подготовительные операции.

21.3. Техническое обслуживание скоростного и высокоскоростного подвижного состава на железных дорогах России

Обслуживание поездов «Сапсан» производится в моторвагонном депо Санкт-Петербург-Московское (ТЧ10), проект которого был разработан ОАО «Ленгипротранс». Строительство депо осуществлено Балтийской строительной компанией в 1999 г.,



Рис. 21.13. Скоростной электропоезд ЭР200 в депо. Россия

после чего в нем обслуживали пригородные электропоезда и скоростные электропоезда ЭР200 (рис. 21.13).

В связи с подготовкой к эксплуатации поездов «Сапсан» в 2007—2008 гг. была произведена модернизация и переоснащение депо по проекту, разработанному ОАО «Ленгипротранс» совместно с немецкой компанией PRO-Concept. В настоящее время депо Санкт-Петербург-Московское по уровню технико-технологического оснащения и эксплуатационным возможностям является, по признанию зарубежных экспертов, одним из лучших депо в европейских странах (рис. 21.14).

Реконструкция депо произведена, исходя из задач обеспечения полного комплекса обслуживания поездов типа «Сапсан» (табл. 21.1).

Как видно из таблицы, периодически, после достижения поездом указанного в ней пробега, выполняются следующие работы:

L (4 тыс. км) — «Контроль ходовой части»¹

- визуальный контроль колесных пар, осей и тележек;
- визуальный осмотр крышевого оборудования;
- визуальный осмотр электрооборудования;
- визуальный контроль тормозной системы;
- проверка работоспособности тормозной системы;

¹ L, N, IS 510 и так далее — принятая по номенклатуре дел компании-производителя поездов индексация этапов обслуживания.



Рис. 21.14. Скоростные электропоезда «Сапсан» в депо. Россия

Таблица 21.1

Техническое обслуживание поезда «Сапсан»

Пробег, тыс. км	Условный индекс работ	Наименование работ	Время нахождения в депо (без времени, на мойку)
4	L	Контроль ходовой части	1 ч
20	N	Осмотр	4 ч
120	IS 510	Инспекционная ступень 1	11 ч
240	IS 520	Инспекционная ступень 2	23 ч
480	IS 530	Инспекционная ступень 3	35 ч
1250	R1	Ремонт	10 дней
2500	R2	Ремонт	14 дней
3750	R3	Ремонт	26 дней
5000	R4	Ремонт	28 дней
7500	R5	Ремонт	48 дней

- тестирование приборов безопасности;
- выявление неисправностей и их устранение.

N (20 тыс. км) — «Осмотр»

Объем, предусмотренный техническим обслуживанием вида L, плюс:

- полный визуальный контроль тормозной системы;
- мероприятия техосмотра тягового оборудования;
- контроль колесных пар и аккумуляторных батарей поезда;
- контроль пневматического оборудования;

- контроль кухонного оборудования вагона-бистро;
- контроль оборудования вагонов поезда.

IS 510 (120 тыс. км) — «Инспекционная ступень 1»

Объем, предусмотренный видом технического обслуживания N, плюс:

- техническое обслуживание тягового привода с проведением контрольных замеров колесных пар;
- визуальный контроль и техническое обслуживание внешних дверей;
- осмотр тележки и навесных деталей;
- визуальный контроль пневматической системы;
- контроль состояния внутреннего оборудования поезда и функционирования климатической установки (замена воздушных фильтров)
- проверка статических характеристик токоприемников (при необходимости, с регулировкой).

IS 520 (240 тыс. км) — «Инспекционная ступень 2»

Объем, предусмотренный видом технического обслуживания IS510, плюс:

- техосмотр тягового привода;
- очистка и ревизия всего высоковольтного, низковольтного электрооборудования, решеток воздухозаборников, фильтров кондиционеров;
- ревизия тормозных приборов с испытанием тормозной системы;
- выявление неисправностей и их устранение;
- дефектоскопия осей и дисков колесных пар;
- обточка колесных пар (при необходимости).

IS 530 (480 тыс. км) — «Инспекционная ступень 3»

Объем, предусмотренный видом техобслуживания IS520, плюс:

- техническое обслуживание тягового привода и тележек с техосмотром подшипниковых узлов букс колесных пар;
- техосмотр крышевого оборудования и токоприемников без снятия с вагонов;

— техосмотр высоковольтного и низковольтного электрооборудования с заменой при необходимости модулей и составных частей;

— техосмотр тормозного оборудования с контрольной проверкой и замерами параметров тормозной сети;

— техосмотр устройств автосцепки и межвагонных переходов;

— техосмотр кабелей, проводов и электрических разъемов;

— проверка приборов и систем безопасности на испытательных стендах;

— выявление неисправностей и их устранение.

R1 (1 млн 250 тыс. км) — «Ремонт»

— ревизия тягового привода с выкаткой и разборкой колесных пар с механической трансмиссией;

— ревизия тележек с заменой компонентов;

— ревизия электрических машин;

— ремонт тормозной системы;

— ревизия электрического и электронного оборудования с проверкой и измерением его параметров;

— устранение системных недостатков и ошибок;

— восстановление наружной окраски кузова;

— выявление неисправностей и их устранение;

— сопровождение контрольной поездки без пассажиров;

— анализ и устранение неисправностей, выявленных во время обкатки.

Работы, начиная со следующего цикла, выполняются на ремонтном заводе или заводе-изготовителе.

R2 (2 млн 500 тыс. км) — «Ремонт»

Включает все работы стадии R1 плюс:

— ревизия тягового привода в условиях ремонтного завода или завода-изготовителя;

— ремонт электрического и электронного оборудования в условиях завода или изготовителя;

— замена различных модулей, составных частей с проверкой на износ, разборка и

очистка, восстановление исходных технических параметров;

- выявление неисправностей и их устранение;
- сопровождение контрольной поездки без пассажиров;
- анализ и устранение неисправностей, выявленных во время обкатки.

R3 (3 млн 750 тыс. км) — «Ремонт»

Включает все работы стадии R2 плюс:

- ревизия всего оборудования в условиях ремонтного завода с ремонтом модулей, составных частей и деталей у изготовителей;
- полная окраска кузова;
- выявление неисправностей и их устранение;
- анализ и устранение неисправностей, выявленных во время обкатки.

R4 (5 млн км) — «Ремонт»

Включает в себя все виды работ стадии R2 с заменой модулей, составных частей и деталей, их разборку и очистку, а также точную проверку на износ и соответствие исходным техническим параметрам плюс:

- выявление неисправностей и их устранение;
- сопровождение контрольной поездки без пассажиров.

R5 (7 млн 500 тыс. км) — «Ремонт»

Включает в себя все виды работ стадии R3 плюс:

- все необходимые работы для поддержания поезда в состоянии готовности и надежности согласно требованиям технического задания, замену частей интерьера (чехлы сидений, ковровое покрытие и т.п.);
- замену мостиков междвагонных переходов поезда;
- выявление неисправностей и их устранение;
- сопровождение контрольной поездки без пассажиров;
- анализ и устранение неисправностей, выявленных во время обкатки;
- модернизацию.

Ключевой задачей реконструированного депо «Металлострой» является как выполнение технологии обслуживания поездов, так и проведение внеплановых работ без дополнительных затрат времени. Для этого предусмотрено необходимое технологическое оснащение основных и вспомогательных цехов.

Все три пути производственного корпуса (№ 38, 39, 40) оборудованы эстакадами с уровнями — 0,85 м с необходимыми коммуникациями для подключения оборудования (рис. 21.14; 21.15; 21.16). Две эстака-

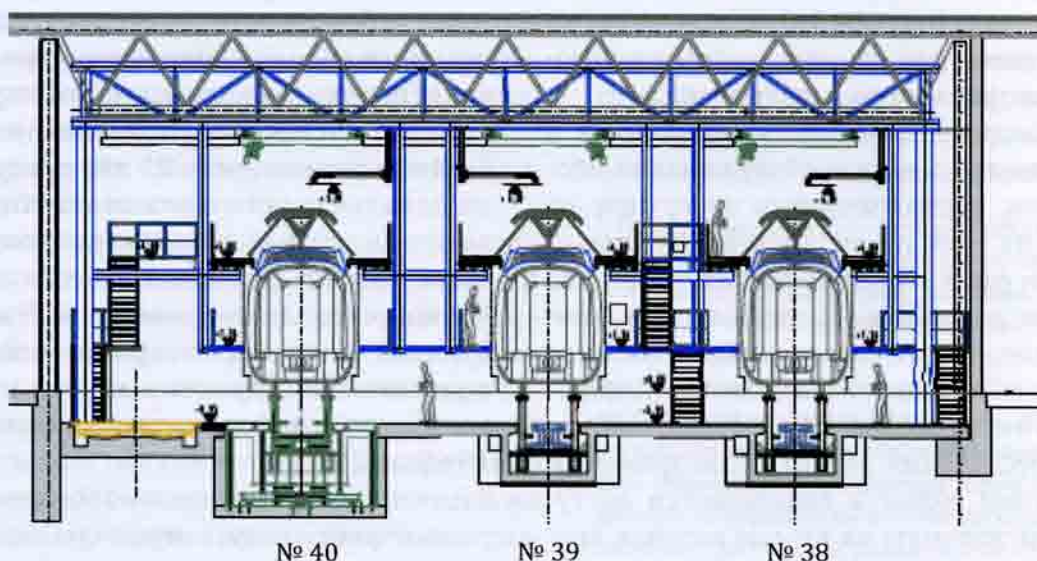


Рис. 21.15. Схематический чертеж поперечного разреза производственного корпуса; № 38—40 — пути для обслуживания поездов



Рис. 21.16. Площадки и эстакады различного уровня для обслуживания поездов в производственном корпусе депо

ды (пути № 38 и 39) снабжены специализированными мостками и устройствами, обеспечивающими замену колесных пар без расцепки состава на позиции ремонта. Одна эстакада (путь № 40) оснащена двумя устройствами для замены тележек и тягового трансформатора электропоезда.

Для обеспечения доступа работников в салон электропоезда и обслуживания оборудования, расположенного на крыше, на каждом из трех путей подвешены эстакады, на несущей вторичной конструкции. На эстакадах расположены необходимые коммуникации, имеется электрическая сеть для питания оборудования и электрифицированного инструмента.

Для обеспечения заезда подвижного состава своим ходом и возможности доступа к оборудованию на крыше вагонов предусмотрена система контактной подвески с убирающимся контактным проводом (рис. 21.17). При убранном контактном проводе

возможна работа грузоподъемного крана, передвигающегося вдоль эстакад, и выполнение работ по замене оборудования, размещенного на крыше вагона.

Для обеспечения проверки работоспособности поездов постоянно-переменного тока (необходима подача на токоприемник питания постоянным током напряжением 3 кВ и переменным — 25 кВ) предусмотрена локальная установка контактного провода над соответствующим токоприемником с подачей переменного тока промышленной частоты напряжением 25 кВ от модульной трансформаторной подстанции, повышающей переменный ток из системы электроснабжения депо напряжением 10 кВ до 25 кВ.

Для подготовки электропоездов в очередной рейс предусмотрен производственный корпус с двумя сквозными стойловыми путями. Позиции уборки и санитарной обработки вагонов оснащены средствами и



Рис. 21.17. Участок подвижной контактной подвески с убирающимся проводом в цехе депо

устройствами, обеспечивающими высококачественную подготовку электропоездов к рейсу. Так, для уборки салонов электропоезда имеется стационарная вакуумная установка с разводящей сетью в комплексе с устройством отсоса пыли и увлажнения, которые располагаются вдоль всей позиции, что обеспечивает одновременную уборку всего состава.

Санитарная обработка вагонов выполняется специальным оборудованием, осуществляющим опорожнение и промывку сборных баков туалетов вакуумным способом, прием и сброс сточно-фекальных вод в канализацию, заправку вагонов чистой водой. Все вагоны обслуживаются одновременно в течение 90 минут (рис. 21.18). На этой же позиции предусмотрено оттаивание подвижного состава в зимний период времени. Для ускорения этого процесса специальная установка производит разбрызгивание ра-

зогретого раствора пропиленгликоля¹ на стенки кузова и в подвагонное пространство (рис. 21.19, 21.20).

Для наружной обмывки вагонов используется оборудование компании «Wesumat», способное в автоматическом режиме в соответствии с заданной программой выполнить весь технологический процесс обмыв-

¹ Пропиленгликоль — вязкая жидкость с неярким запахом, образуется при производстве нефтепродуктов. Не ядовит, вдыхание его паров не приносит вреда человеку (применяется в пищевой промышленности, например, для охлаждения пива, молока). Температура замерзания пропиленгликоля составляет $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, что позволяет использовать его в теплообменном оборудовании. Обрызгивание нагретой водой сильно охлажденных поверхностей кузова вагона или тележек вначале приводит к увеличению объема наледи, поэтому применяют нагретый раствор пропиленгликоля, который вызывает обильное таяние снега и наледи.

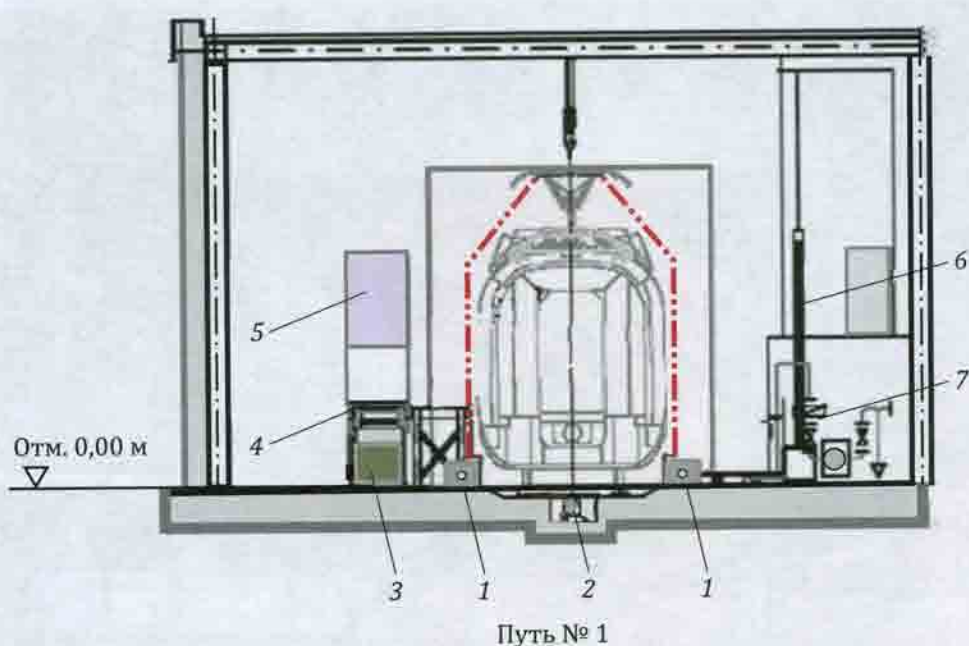


Рис. 21.18. Схематический чертеж разреза экипировочного цеха: 1 — станционная система отопления вагонов теплым воздухом; 2 — подача теплого воздуха и отвод образовавшейся от таяния льда и снега воды в канализацию; 3 — контейнер для отходов; 4 — площадка для доступа в вагоны и обслуживания на высоте 1,36 м; 5 — шкаф для хранения хозяйственных средств; 6 — установка для очистки туалетов и заправки баков водой; 7 — насосная станция для откачки содержимого баков туалетов и дозирования хлорирования воды



Рис. 21.19. Типичный вид вагона поезда, прибывающего в депо в зимний период

ки, начиная с предварительного обогрева или охлаждения наружной обшивки вагонов. Процесс завершается сушкой. Расчетное время на наружную обмывку 10-вагонного поезда «Сапсан» длиной 250 м составляет 60—65 мин. Предусмотрена програм-

ма увеличенной до 120—130 мин мойки вагонов особо загрязненных поездов, для этого уменьшается скорость продвижения поезда.

В депо имеется разнообразное оборудование для диагностики ответственных уз-

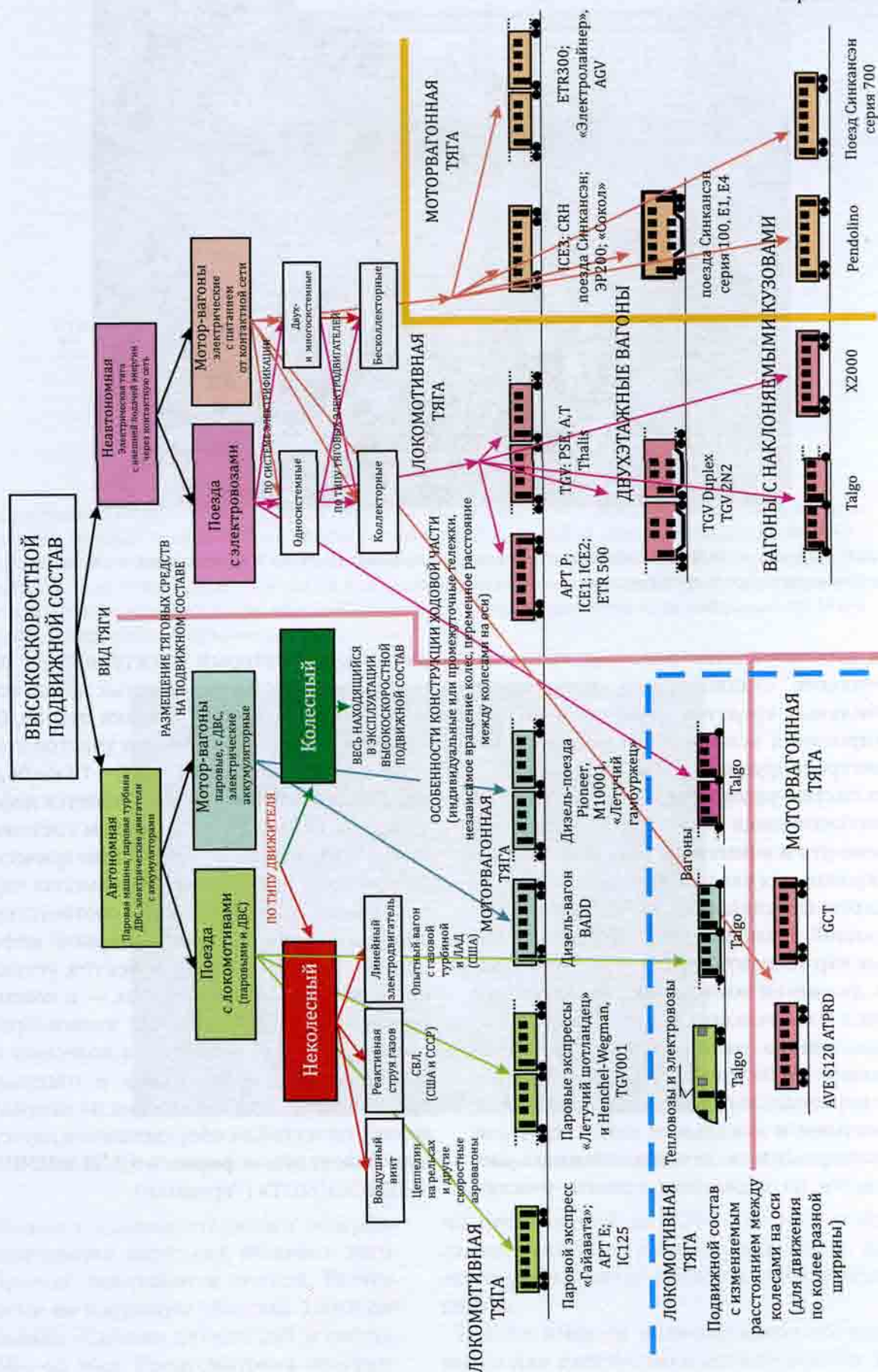


Рис. 21.20. Установка «АНТИЛ» обеспечивает ускорение удаления снега и наледи путем обработки разогретым раствором пропиленгликоля

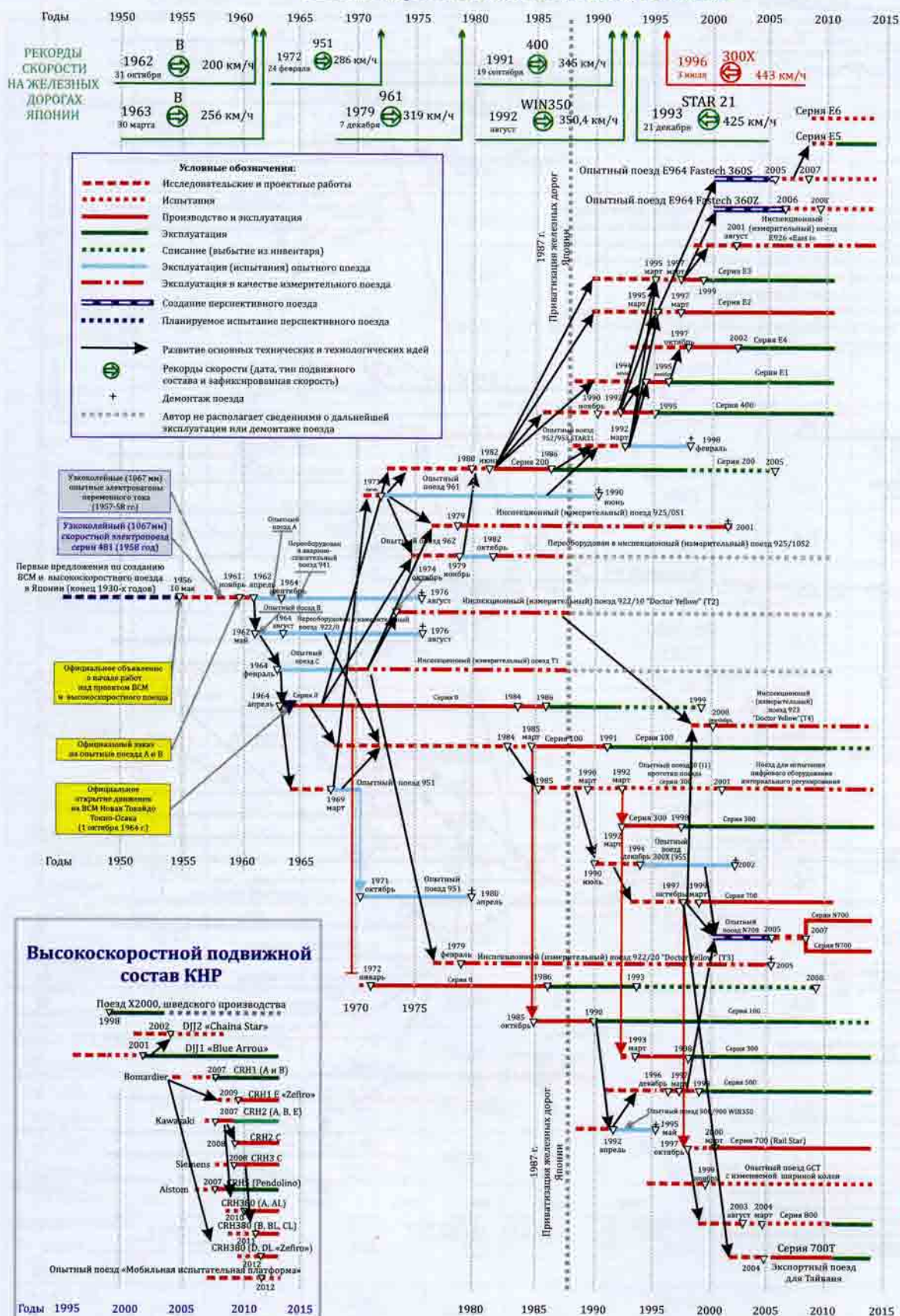
лов и агрегатов электропоезда «Сапсан», включающее стационарные, переносные и мобильные средства технического диагностирования вспомогательного, силового электрооборудования, комплексов бортовых систем управления поездом, систем жизнеобеспечения пассажиров в вагонах, для ремонта и испытания большинства демонтированных узлов и агрегатов.

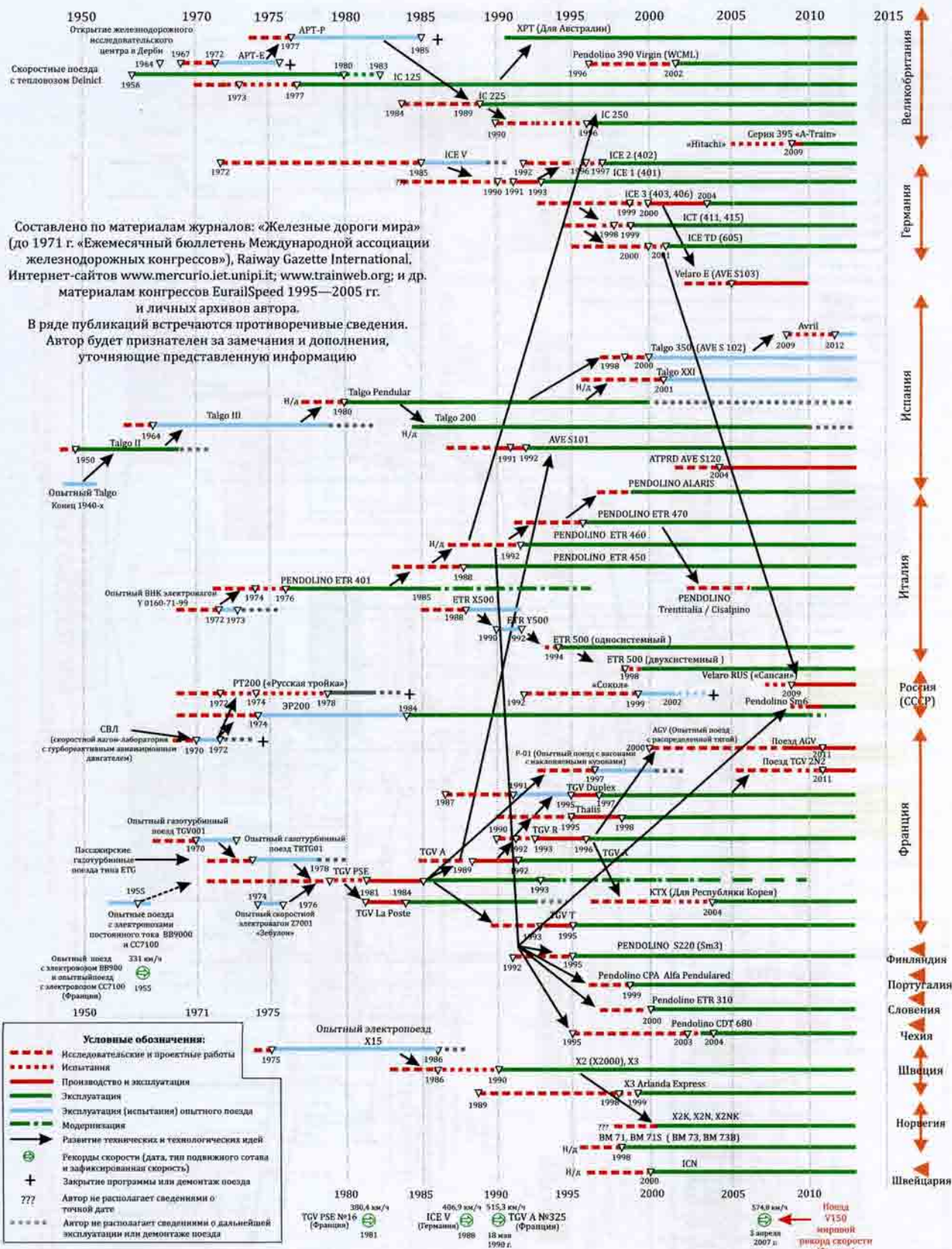
Внедрен специальный комплекс, осуществляющий техническую диагностику колесных пар бесконтактным способом в процессе движения электропоезда. Комплекс оснащен различными по функциональному назначению напольными устройствами телеметрического контроля и измерений с персональными компьютерами, объединенными в локальную сеть с другими компьютерными системами. Комплекс располагается на отдельном прямом участке

пути, через который электропоезда пропускаются в стойла ремонтных цехов, вспомогательного корпуса и парки отстоя. При проходе электропоезда через участок комплекса со скоростью не более 8—10 км/ч для каждой колесной пары выполняется дефектоскопия бандажей с контролем состояния их поверхности и замером геометрических параметров. Получаемые результаты через локальную сеть передаются соответствующим потребителям компьютерной информации, а при выявлении дефектов, устранение которых требует обточки, — в компьютерную систему управления колесообрабатывающим станком. Обточка колесных пар без выкатки предусмотрена в отдельном производственном помещении на специализированном стойле, оборудованном двухсуппортным станком фирмы «NILES-SIMMONS-HEGENSCHEIDT» (Германия).



Высокоскоростной подвижной состав Японии





Основные параметры некоторых высокоскоростных поездов

Поезд (тип, страна)	Год перво- го вы- пуска	$v_{\text{констр'}}$ км/ч; колея, мм	Нагрузка на колесную пару, кН; длина поез- да, м	Мощ- ность поезда, кВт	Система питания	Схема форми- рования; количество мест	Тяговый электропривод	
							Двига- тель	Преобразова- тель
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 (ноль), Япония	1964	230 1435	160 393	11 840	e	16М ¹	ДПТ	В
ЭР200, Россия	1974	200 1520	160 372	10 320	c	12М+2П ¹ 816	ДПТ	ПР
TGV PSE, Франция	1978	270 1435	163 200	6450	b, d, f*	2Л+2М+6П ² 368	ДПТ	В
100, Япония	1984	260 1435	150 395	11 040	e	12М+4П ^{1,3} 1321	ДПТ	В
ETR460, Италия	1987	250 1435	130 236	6000	c	6М+3П ⁴ 458	АД	4qS+АИН
TGV A, Франция	1989	300 1435	170 238	8800	b, d	2Л+10П ² 485	СД	В+АИТ
X2000, Швеция	1990	210 1435	175 139	3260	f	Л+4П+ПУ ⁴ 288	АД	4qS+АИН
ICE1, Германия	1990	280 1435	195 410	9600	f	2Л+14П ¹ 495	АД	4qS+АИН
300, Япония	1989	285 1435	114 400	12 000	e	10М+6П 1323	АД	В+АИН ШИМ
ETR500, Италия	1991	300 1435	170 302	8800	c	2Л+10П ¹ 672	АД	ИП+АИН ШИМ
AVE, (серия 100) Испания	1991	300 1435	172 200	8800	c, d	2Л+8П ² 329	СД	В+АИТ
TGV R, Франция	1992	300 1435	170 200	8800	b, c*, d	2Л+8П ² 377	СД	В+АИТ
STAR 21, Япония	1992	350 1435	84 205	3960; 5280 ⁷	d	7М+2П ^{5,6} —	АД	В+АИН ШИМ
TGV T, Eurostar, Франция	1993	300 1435	170 394	12 200	a, b, c, d	2Л+2М +16П ² 794	СД	В+АИТ
S220, Финляндия	1994	220 1524	146 159	4000	d	4М+2П ⁴ 287	АД	4qS+АИН
TGV DUPLEX, Франция	1995	300 1435	170 200	8800	b, d	2Л+8П ^{2,8} 545	СД	В+АИТ
500, Япония	1995	320 1435	110 404	18 240	e	16М 1323	АД	В+АИН ШИМ
ICE2, Германия	1997	280 1435	190 205	4800	f	Л+6П+ПУ 370	АД	4qS+АИН
ETR500, (двухсистем- ный) Италия	1997	300 1435	175 326	8800	c, d	2Л+11П ¹ 594	АД	В+АИН (АИН ШИМ)
MAX E4, Япония	1997	270 1435	160 201	6720	d	4М+4П ⁸ 817	АД	В+АИН ШИМ

1	2	3	4	5	6	7	8	9
700, Япония	1997	300 1435	114 405	13 200	e	12М+4П ¹ 1323	АД	В+АИН ШИМ
ALARIS, Испания	1997	220 1668	150 78	2040	c	2М+П ⁴ 161	СД	н/д
ICE3, (многосистем- ный) Германия	1998	330 1435	160 200	8000	b, c, d, f	4М+4П 378	АД	4qS+АИН (ИП+АИН)
ICE T, Германия	1998	230 1435	168 184	4000	f	4М+3П ^{1, 4} 372	АД	4qS+АИН
«Сокол-250», Россия	2000	250 1520	162 160	5400	c, d	2М+4П ^{1, 5} 380	АД	4qS+АИН (ИП+АИН ШИМ)
AVE Серия 102-112 (Talго 350) Испания	2005	330	160 200	8000	d	2Л+12П 365	АД	4qS+АИН
VelaroRus («Сапсан В1»), Германия для России	2009	250 1520	170 250	8000	c	4М+4П 604	АД	4qS+АИН (ИП+АИН)
VelaroRus («Сапсан В2»), Германия для России	2009	250 1520	180 250	8000	c, d	4М+6П 604	АД	4qS+АИН
Sm6 «Allegro», Франция для России и Фин- ляндии	2010	220 1520/ 1524	170 184,8	5500	c, d	4М+3П 352	АД	4qS+АИН
E5 Япония	2011	320	130 253	9600	d	8М+2П 658	АД	4qS+АИН
AGV (NTV) Франция для Италии	2012	300	Н. д. 200	8640	c, d	6МТ+6ПТ Около 500	СД	н/д

¹ Могут использоваться поезда с другими схемами.

² Поезд состоит из сочлененных вагонов на промежуточных тележках.

³ В поезде включаются два или четыре двухэтажных вагона.

⁴ Поезд состоит из вагонов с наклоняемыми кузовами.

⁵ Опытный поезд.

⁶ Часть вагонов поезда имели устройства для наклона кузова, в поезд входили как сочлененные, так и несочлененные вагоны. Нагрузка на ось 84 кН указана для несочлененного вагона.

⁷ В процессе испытаний изменялось количество моторных тележек и мощность тяговых двигателей.

⁸ Все вагоны поезда двухэтажные.

Условные обозначения:

Система питания:

a — 750 В, постоянный ток, от третьего контактного рельса;

b — 1,5 кВ, постоянный ток;

c — 3,0 кВ, постоянный ток;

d — 25 кВ, 50 Гц;

e — 25 кВ, 60 Гц;

f — 15 кВ, 16 2/3 Гц.

Двигатели и преобразователи:

ДПТ — двигатель постоянного тока; ПР — пусковые резисторы; АД — асинхронный двигатель трехфазного

тока; СД — синхронный двигатель трехфазного тока; В — диодный выпрямитель; ИП — импульсный преобразователь; АИН, АИТ — автономный инвертор напряжения, тока; ШИМ — широтно-импульсная модуляция; 4qS — четырехквadrантный преобразователь.

Состав поезда:

Л — локомотив; М — моторный вагон; П — прицепной вагон; ПУ — прицепной вагон с кабиной управления в поезде с локомотивной тягой; МТ — моторная тележка поезда из сочлененных вагонов; ПП — поддерживающая тележка такого же поезда; * — часть поездов.

Библиография

1. *Бороненко Ю.П., Орлова А.М., Рудакова Е.А.* Проектирование ходовых частей вагонов: учебное пособие. — СПб.: Петербургский государственный ун-т путей сообщения, 2003. — 74 с.
2. *Бурков А.Т.* Электронная и преобразовательная техника: учебник для вузов ж.-д. транспорта. — М., 2001. — 464 с.
3. Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода. ОСТ 24.050.16.85. — 1985. — 15 с.
4. Временные нормы для расчета и проектирования механической части прицепных (несамоходных) пассажирских вагонов для высокоскоростных поездов железных дорог. — М.: ВНИИЖТ-ГосНИИВ, 1993. — 78 с.
5. Все о высокоскоростных поездах ICE / Дитер Айкхофф. Пер. с нем. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2008. — 126 с.
6. Все о высокоскоростных поездах TGV / Андре Папаян. Пер. с нем. — М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2010. — 127 с.
7. *Гапанович В.А., Розенберг Е.Н., Розенберг И.Н.* и др. Безопасность движения на железных дорогах на основе применения multifunctional комплексных систем регулирования движения поездов / Под ред. В.И. Якунина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2008. — 280 с.
8. *Гопал К. Дюбей.* Основные принципы устройства электроприводов: пер. с англ. — М.: Техносфера, 2009. — 431 с.
9. ГОСТ 311 91.-2004. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования.
10. ГОСТ 311 91.4-2006 (ISO 2631-4:2001). Вибрация и удар. Измерения общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 4. Руководство по оценке влияния вибрации на комфорт пассажиров и бригады рельсового транспортного средства.
11. Государственная программа по повышению безопасности движения на железнодорожном транспорте Российской Федерации на период 1993—2000 годов. Утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 29 октября 1992 г. № 833 «О повышении безопасности движения на железнодорожном транспорте». — // <http://www.vcom.ru/cgi-bin/db/zakdoc>.
12. *Гуткин Л.В., Дымант Ю.Н., Иванов П.А.* Электропоезд ЭР200. — М.: Транспорт, 1981. — 192 с.
13. Железнодорожный транспорт: энциклопедия / Гл. ред. Н.С. Конарев. — М.: Большая российская энциклопедия, 1994. — С. 348.
14. *Захарченко Д.Д., Ротанов Н.А.* Тяговые электрические машины. — М.: Транспорт, 1991. — 343 с.
15. История Петербургского государственного университета путей сообщения. В 2 т. 3 кн.: Т. 2. Кн. 1: 1911—1984 / Под общ. ред. В.И. Ковалева, И.П. Киселева. — СПб.: ПГУПС, 2009. — С. 282.
16. *Киселев И.П.* Краткий обзор истории высокоскоростных поездов в Японии // Железные дороги мира. — 2005. — №7. — С. 7—16; №8. — С. 9—20; №9. — С. 15—24 (1,3 п.л.).
17. *Киселев И.П.* Краткий обзор истории европейских высокоскоростных поездов в Японии // Железные дороги мира. — 2005. — №12. — С. 10—36; 2006. — №1. — С. 18—41 (1,6 п.л.).
18. *Киселев И.П.* Высокоскоростной железнодорожный транспорт: современные вызовы и перспективы // Железнодорожный транспорт. — 2012. — №11. — С. 44—49; 2012. — №12. — С. 34—39; 2013. — №2. — С. 70—77.

19. Конструирование и расчет вагонов: учебник / Под ред. П.С. Анисимова. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. — 688 с.

20. Красковский А.Е., Рогоза Д.И., Комплексная оценка рисков для безопасности движения // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2011. — № 1 (26). — С. 54-65.

21. Лазарян В.А., Коротенко М.Л. Устойчивость движения рельсовых экипажей. — Киев: Наукова думка, 1972. — 178 с.

22. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части моторвагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. М.: ВНИИЖТ, 1997. — 47 с.

23. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. — 319 с.

24. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта // Собрание законодательства Российской Федерации: 26.07.2010, № 30, ст. 4098.

25. О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта // Собрание законодательства Российской Федерации: 26.07.2010, № 30, ст. 4106.

26. О безопасности железнодорожного подвижного состава // Собрание законодательства Российской Федерации: 02.08.2010, № 31, ст. 4235.

27. Памятка МЖД № 518. Испытания и сертификация железнодорожных вагонов с точки зрения их динамических характеристик — безопасности — усталости пути — ходовых качеств: пер. с фр. — СПб.: ПГУПС, 2000.

28. Плеханов П.А. Транкинговые и сотовые системы связи. — СПб.: ПГУПС, 2010. — 29 с.

29. Положение о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах Российской Федерации: утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 2211—р от 30.10.2009 г. — М.: ОАО «РЖД», 2009 г.

30. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утверждены приказом Минтранса России от 21 декабря 2010 г. № 286. — М.: Омега-Л, 2012. — 173 с.

31. Прокудин И.В., Грачев И.А., Колос А.Ф. Организация переустройства железных дорог под скоростное движение поездов: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. И.В. Прокудина. — М.: Маршрут, 2005. — 716 с.

32. Раков В.А. Локомотивы отечественных железных дорог: 1845—1955. — 2-е изд., перераб. — М.: Транспорт, 1995. — 564 с.

33. Селинов В.И. Проектирование подвешивания вагонов: учеб. пособие. — Брянск: Изд. Брянского гос. технического университета, 1999. — 345 с.

34. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. В прошлом, настоящем и будущем. К 150-летию железнодорожной магистрали Санкт-Петербург—Москва. Т. 1 / Под ред. В.И. Ковалева. — СПб., 2001. — 320 с.

35. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. Сооружения и устройства. Подвижной состав. Организация перевозок (Обобщение отечественного и зарубежного опыта). Т. 2 / Под ред. В.И. Ковалева. — СПб.: Информационный центр «Выбор», 2003. — 448 с.

36. Скоростные железные дороги Японии: Синкансэн: пер. с японск. / Т. Тосихико, К. Сато-си, И. Есио и др. / Под ред. В.Г. Альбрехта. — М.: Транспорт, 1984. — 200 с.

37. 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.

38. Функциональная стратегия обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса ОАО «РЖД» (утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 29.05.2007 г. № 987р). — М.: ОАО «РЖД», 2007. — 141 с.

39. Черкашин Ю.М. Безопасность движения железнодорожного подвижного состава // Сборник научных трудов ВНИИЖТ. — М.: Интекст, 2010. — 176 с.
40. Чурков Н.А. Аэродинамика железнодорожного поезда. — М.: Желдориздат, 2007. — 332 с.
41. Электроподвижной состав с электрическим торможением: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / Жуликов В.Н., Иньков Ю.М., Козлов Л.Г. и др.; под ред. Ю.М. Инькова и Ю.И. Фельдмина. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 412 с.
42. Якунин В.И. В будущее России — с высокой скоростью: Монография. — М.: Научный эксперт, 2012. — 216 с.
43. AVE Construyendo futuro. — Madrid: Alta Velocidad Española, 1991. — 326 p.
44. Boronenko Y.P. Modeling the dynamics of Russian railroad vehicles with MEDYNA / Y.P. Boronenko, A.V. Tretyakov, V.S. Lesnitchy, A.M. Orlova // 4-th ADAMS/Rail Users' Conference Proceedings, Utrecht, April 1999. — Utrecht, 1999. — 5 p.
45. 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].
46. 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].
47. 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].
48. 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].
49. Demadret R. Maintenance and renovation of High Speed Lines / 7th Training on High Speed Systems. — Paris: UIC, 2010.
50. Directive 2001/16/EC of the European Parliament and of the Council of 19 March 2001 on the interoperability on the trans-European conventional rail system [Official Journal L 110 of 20.04.2001].
51. Handbook of railway vehicle dynamics. Ed. S. Iwnicki. ISBN-13: 978-0-8493-3321-7. — CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006.
52. Hughes M. Rail 300: The world high speed train race. — London: David & Charles, 1988. — 192 p.
53. ICE. High-tech on rails. — Darmstadt: Hestra-Verlag, 1986. — 176 p.
54. ISO 2631-1:1997. Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole — body vibration — Part 1. General requirements (MOD).
55. Kato K. System Changes in Train Control and Transport Management // JR EAST Technical Review 2008. № 11. — P. 11
56. Maintenance of High Speed Lines / Report. — Paris: UIC, 2010. — 64 p.
57. Nishiyama T. High-Speed Rail Operations in Japan. — New York: APTA; UIC, 6. г. — P. 17.
58. Pita A. L. Talgo and high speed. — Madrid: Patentes Talgo, 6. д. — 240 p.
59. Semmens P. High Speed in Japan. — Sheffield: Platform 5 Publishing Ltd, 2000. — 108 p.
60. Sperling E., Betzold Gh. Beitrag zur beurteilung des fahrcomfort in schienenfahrreugen. Clasers Annalen, okt. 1956. — P. 314—317.
61. Toshiyuki A. Application of Universal Design to Railway Facilities // Japanese Railway Engineering, 2001. № 146. — P. 1.

Источники иллюстраций

Бороненко Ю. П.: 13.1, 13.2, 13.3, 13.4, 13.5, 13.6, 13.7, 13.8, 13.9, 13.36; Босов С. А.: 17.25, Бурков А. Т.: 14.1, 14.7, 14.8, 14.16, 14.17, 14.18, 14.19, 14.20, 14.22, 14.23, 14.24, 14.25; Восточная японская железнодорожная компания (далее — ВЯЖК): 18.10, 18.11, 18.12; Высокоскоростные поезда «Сапсан» В1 и В2. Учебное пособие в 2-х частях / Под ред. А. В. Ширяева. — М.: 2013. — часть 1: 14.35, 16.3, 16.4; Высокоскоростные поезда «Сапсан» В1 и В2. Учебное пособие в 2-х частях / Под ред. А. В. Ширяева / Приложение. — М.: 2013: 14.27, 14.28; Гуткин Л. В., Дымант Ю. Н., Иванов П. А. Электропоезд ЭР200. — М.: Транспорт, 1981: 13.18.в; Дирекция скоростного сообщения — филиал ОАО «РЖД» (ДСС): 16.1, 16.7, 16.9, 16.10, 16.11, 16.12, 16.15, 16.17, 16.18, 16.19, 16.20, 17.36, 17.38, 21.15, 21.16, 21.17, 21.18, 21.19, 21.20; Зиннер В. И., Степов В. В. Основные направления деятельности Октябрьской железной дороги в области организации скоростного и высокоскоростного движения // Транспорт Российской Федерации, 2009. №6 (25): 18.4; Кавасаки // http://3.bp.blogspot.com/-LzLmqubKio0/TiBXRqbrKyl/AAAAAAAAAZI/7CibI_MbGfc/s1600/272dc8b2-afb7-11e0-912b-f56a3f2460fd.png: 13.28; Кавасаки // http://3.bp.blogspot.com/-fMqFS2Xe9wE/TiBXogFu-vI/AAAAAAAAAZU/eSA8lJ4Oi_8/s1600/99ce57ba-afb7-11e0-912b-f56a3f2460fd.jpg: 13.31; Куцелев И. П.: 12.1, 12.5, 12.6, 12.9, 12.16, 12.18, 12.21, 12.22, 12.23, 12.25, 12.26, 12.28, 12.30, 12.31, 12.32, 12.33, 12.34.6, 13.1, 13.7, 13.11, 13.12, 13.13, 13.17, 13.20.а, 13.21.а, 13.28, 13.29.6, 13.30, 13.37, 13.39, 13.41, 13.42, 13.43, 13.44, 13.45, 13.46, 13.47, 13.48, 13.49, 13.50, 13.51, 13.53, 13.54, 13.57, 13.59, 13.63, 13.64, 13.65, 13.68, 13.69, 13.70, 13.73, 13.76, 13.77, 13.78, 13.80, 13.82, 13.87, 13.88, 13.93, 13.94, 14.3, 14.4, 14.5, 14.9, 14.10, 14.11, 14.12, 14.13, 14.14, 14.15, 14.16, 14.18, 14.22, 14.23, 14.24, 14.25, 14.26, 14.27, 14.28, 14.31.а, 14.33, 14.34, 14.35, 14.39, 15.1, 15.2, 15.3, 15.4, 15.5, 15.6, 15.7, 15.9, 15.13, 16.2, 16.5, 16.8, 16.9, 16.10, 16.13, 16.14, 16.16, 17.2, 17.6, 17.7, 17.8, 17.16, 17.18, 17.24, 17.26, 17.27, 17.28, 17.29, 17.30, 17.31, 17.35, 17.36, 18.1, 18.2, 18.3, 18.5, 18.6, 18.7, 18.8, 18.9, 18.10, 18.11, 18.12, 19.1, 19.2, 19.3.6, 19.4, 19.5, 19.6, 19.7, 19.8, 19.9, 19.14, 19.15, 19.18, 19.20, 20.2, 20.3, 20.4, 20.5, 20.6, 20.7, 20.8, 20.9, 20.12, 20.13.6, 20.14, 20.17, 20.18, 20.19, 20.21, 20.23, 20.27, 20.29, 20.31, 21.1, 21.10, 21.15, 21.18; Красковский А. Е.: 17.4, 17.5, 17.32; Ластовка М. О. // <http://trainpix.org/photo/51524>: 14.34; Линн А. Высокоскоростной поезд Velaro RUS // Презентация компании «Сименс АГ» в ПГУПС 2007: 14.4, 14.11.в, 16.2, 16.5, 16.6, 16.8; Министерство железных дорог КНР: 15.15, 19.12, 19.13, 19.14, 19.18; Муура М.: 12.14, 13.10.в, 15.8, 15.12; Морозов Л. Н. / http://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%AD%D0%A0200_%D0%B2_%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%B8.JPG?uselang=ru http://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%AD%D0%A0200_%D0%B2_%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%B8.JPG?uselang=ru 13.18.а; МСЖД: 17.31, 19.17, 19.20; Назаров О. Н.: 21.8; Пегов Д. В. 21.5, 21.7; Пехтерев Ф. С. Развитие скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации // Презентация доклада на российско-Испанском семинаре по высокоскоростному железнодорожному транспорту. — М., 2011: 21.13; ПГУПС: 17.33, Поезд серии 100 // Технический буклет (далее — т. б.) Центральная японская железнодорожная компания (далее — ЦЯЖК): 14.11.а; 14.30, 15.6; Поезд серии 120 // Т. б. CAF/Alstom: 13.87.6; Поезд серии 200 / Т. б. ВЯЖК: 17.13, 17.16; Поезд серии 300 / Т. б. ЦЯЖК: 14.33.в; Поезд серии 500 // Т. б. ЦЯЖК: 13.25; Поезд серии 700 // Т. б. ЦЯЖК: 13.26, 13.27, 14.3.6, 14.3.в, 14.3.г; Поезд N700 // Т. б. ЦЯЖК: 13.82.6, 13.55, 13.56, 13.57; Поезд серии E1 // Т. б. ВЯЖК: 13.48; Поезд серии E 1 MAX // Т. б. ВЯЖК: 12.12; Поезд серии E2-1000 // Т. б. ВЯЖК: 13.53; Поезд серии E3 // Т. б. ВЯЖК: 13.61, 13.62; Поезд серии E6 // Т. б. ВЯЖК: 13.39; Поезд серии East i // Т. б. ВЯЖК: 20.3, 20.4, 20.5, 20.6, 20.7, 20.8, 20.9, 20.10; Поезд серии ETR500 // Т. б. Итальянские железные дороги: 13.46; Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт: в 2 т. Т.2 — СПб.: Выбор, 2003: 13.12, 13.15, 13.17, 13.18.6, 13.20.6, 13.22, 13.23.6, 13.32, 13.70, 14.2, 14.6, 14.9, 14.21, 14.32.а, 15.10, 17.20, 17.21;

Скоростные железные дороги Японии: Синкансэн / Т. Тосихико, К. Сатоси, И. Есио и др. / Пер. с японск. под ред. В. Г. Альбрехта. — М. Транспорт, 1984: 13.19, 13.38, 14.3.а, 14.33.б, 15.9.а, 20.28, 20.29; ТВЕМА / http://www.tvema.ru/ru/productList_3789.html: 20.32; Тверской вагоностроительный завод: 15.4; Тягин С. / <http://www.itogi.ru/obsch/2010/8/149194.html>: 21.10.в; Уздин А. М.: 17.24; Центральная японская железнодорожная компания // Т. б. ЦЯЖК: 12.15, 13.54, 17.8, 17.34.б, 17.35, 17.37, 13.11, 13.60; Явейн И. Г. Архитектура железнодорожных вокзалов. — М.: Изд. Всесоюзн. акад. архитектуры. 1938: 19.2; Alstom: 13.40, 13.43, 13.83, 14.5, 14.26, 15.11, 15.14, 16.16; Alta Velocidad Española, 1991: 13.41, 13.42, 14.13, 14.29, 15.13, 17.9; Bardet J.P. // www.geerassociation.org/GEER_Post%20EQ%20Reports/Niigata-ken_2004/October31.html: 17.23; Black leon (Морозов Л.) // www.parovoz.com/gallery/RU47/20090510_196974.jpg: 21.14; Bombardier: 12.19, 12.20; Brotmaschine // commons.wikimedia.org/wiki/File:High_Speed_Grinding_Schleifzug_RC01_im_Einsatz.jpg: 20.26; DAJF // wikipedia.org/wiki/File:922_T2_Gifu-Hashima_19981011.jpg: 20.1; De Vries A. // wikipedia.org/wiki/File:Fyra_V250_4806.jpg: 13.29.а; Demadret R. Maintenance and renovation of High Speed Lines / 7th Training on High Speed Systems. — Paris: UIC, 2010: 20.18; Ebihara K. Arrangement of Disturbed Train Traffic on the Shinkansen // JRE. 1978. V.18. № 1: 18.2; Fiat Ferroviaria: 13.16, 13.71, 13.73, 13.74, 13.75, 13.76, 13.77; Fiat-SIG // <http://xzellent.wordpress.com/tilting-bogie-design>: 13.51.6; Fletcher M., Taylor J. Railways: The Pioneer Years. — London: Chartwell Books Inc., 1990: 13.58; Gautier P.-E. UIC study on High speed and Intercity operation facing natural risks // Презентация доклада на Всемирном конгрессе по ВСМ. — Филадельфия, 2012 (далее — презентация Филадельфия): 17.12.а, 17.15, 17.17; Hitachi: 12.3, 13.24; <http://maps.google.ru/maps>: 19.15.а; Hyundai Rotem: 14.14.а; ICE. High — tech on rail. — Darmstadt: Hestra-Verlag, 1996: 12.27, 12.29, 12.31, 13.45, 21.12; <http://passion-trains.over-blog.com/article-essais-la-ligne-doboj-sarajevo-desservi-en-train-talgo-52782017.html>: 13.84; IGNUS Creative Commons SA3 // www.4rail.net/ref_fast_tgvagv.php: 20.13.а; Ishizuka T. E-ticketing Service in East Japan Railway Tetsuo // Презентация, Амстердам: 19.1; Kang X. High Speed Comprehensive Inspection Train // Презентация Филадельфия, 2012: 20.15, 20.16; Kumagai N. Keystone of High Speed Rail: Safety & Environment // Презентация доклада на Всемирном конгрессе по ВСМ. — Амстердам, 2008 (далее — презентация Амстердам): 17.22, 17.28, 17.29, 17.30; Kusumi S. Evolution of overhead catenary system for «Shinkansen» — high speed railways in Japan: 20.31; Lacôte F. The AGV, Incorporating cutting-edge technology // Презентация, Амстердам: 13.14, 13.35, 14.14.в, 14.15; Lenzi L. HS Projects facing with the Tier III standards // Презентация, Филадельфия: 13.29.б; Lim B. O. Innovations in rolling stock maintenance facilities // Презентация, Амстердам: 21.9, 21.10.б; Liu J., Dai X. Research on Risk Control Technology for China High-speed Railway Operation // Презентация, Филадельфия: 17.2, 17.6, 17.7; Martín S. D. R. Infrastructure elements to make compatible standard and broad gauges in the Spanish network // Презентация, Амстердам: 13.80; MATISA: 20.23; metroblog.ru/cat/6 Поезд Sm6: 13.79; Mitsu-ki-2368 // http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dr_yellow_700_series_T4.jpg: 20.2; Murono Y. Rout Planning of High Speed Rail with Seismic Design // Презентация, Филадельфия: 17.26, 17.27; Nagel P. // http://en.wikipedia.org/wiki/File:2010-07-22_Shanghai_Hongqiao_Railway_Station_waiting_hall.jpg: 19.19; Nottara Y. // www.trainweb.org/tgvpages/images/factory: 13.33, 13.34; Oriol M. Fulfilling Expectation and Feedback for Experiences // Презентация, Амстердам: 13.66; Pita A. L. Talgo and high speed. — Madrid: Patentes Talgo, б. д.: 13.67; RENFE: 18.13; Railway Technical Research Institute (Япония): 13.91; RENFE: 21.6; Rsa // www.wikipedia.org/wiki/File:SeriesE2_Type0-Pantagraph.jpg: 14.40; Sakurai H. Technical Introduction of efSET // Презентация Филадельфия: 14.12; Santiago L. de High Speed Network in Spain. Present and Future // Презентация, Амстердам: 13.86, 13.89; Schou M. // www.sncfpassion.files.wordpress.com/2008/10/tgvpse.jpg: 13.20.а; Semmens P. High Speed in Japan. — Sheffield: Platform 5 Publishing Ltd, 1997: 18.5, 18.7, 21.3.а; Siemens AG: 15.5.а, 15.7; Sugitani H.: 12.2; SNCF: 12.7, 12.8, 17.10, 17.34.а, 18.3, 19.16, 20.30, 21.2, 21.3.б, 21.4; Standard EC 62278:2002 (EN 50126-1:1999)

«Railway applications — The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)»: 17.1.; *Take-y* / www.wikimedia.org/wiki/File:Cyoku-j.JPG 14.31.6; Talgo: 13.68, 13.69, 13.88; The IRIS 320 High speed Measurement Train set // Презентация, Амстердам: 20.11, 20.12, 20.13.6; The Sinkansen: Japan's High-speed Railway System — Tokyo; JORSA, 2008: 18.1; ToyoDenki: 14.38; Trains Magazine / [//trn.trains.com/en/Railroad%20News/High%20Speed%20Rail/2010/06/Inside%20Alstoms%20high%20speed%20train%20factory.aspx](http://trn.trains.com/en/Railroad%20News/High%20Speed%20Rail/2010/06/Inside%20Alstoms%20high%20speed%20train%20factory.aspx): 13.23.a; *Tricaurd E.* CEO AREP. SNCF Group, Paris // Презентация, Амстердам: 19.3.a, 19.6; V150: Le train de l'excellence / Alstom. — Saint-Ouen, 2007: 15.2.6; *Wakabayashi Y.* Wayside Noise Reduction Technologies for Shinkansen High-Speed Trains in East Japan Railway Company // Презентация, Филадельфия: 14.37.a, 14.39; *Wakiya H.* // Japanese Railway Engineering. — 2010, № 167: 13.93, 13.94; www.ebay.com/bhp/talgo-train: 13.67.a; www.era.europa.eu: 17.3; www.flickr.com/photos/24736216@N07/3430566276: 12.17.a; www.fotobank.ru/creative/2651.html?page=138: 13.67.6; www.seismos-u.ifz.ru/seismic-big.htm: 17.18; www.gandoza.deviantart.com/art/Shinkansen-E5-series-High-Speed-Train-342299331: 14.37.6; *Harada A.* Slab Track Maintenance. The shinkansen Experience // 7-th Training on High Speed Systems. — Paris: UIC, 2010: 20.27; www.hochgeschwindigkeitszuege.com/japan/fotos-japan/jr-500-pantograph-gr.jpg: 14.36; www.imtram.com/pdfs/Imtram%20-%20Windhoff%20Workshop%20Equipment.pdf: 21.11; www.magnetbahnforum.de/phpBB2/viewtopic.php?start=0&t=8271&topic_view=flat&sid=62588cb924d2c6ce8f4795d18de5d191: 17.14; www.nikon.com/about/feelnikon/recollections/r09_e/img/pic_03.jpg 14.33.a; www.phototravelguide.ru/aeroporto-vokzal/sent-pankras: 19.11; www.planetseed.com/ru/home: 17.25; www.plassertheurer.com/en/machines-systems/machine-systems-rm-802-frm-802.html: 20.20, 20.21, 20.22; www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=70325817: 17.11; www.thejourneyofmyfeet.files.wordpress.com/2013/03/shinkansen-train-derail.jpg: 17.12.6; www.toimg.net/managed/images/10027511/w550/image.jpg: 19.10; www.tubbygaijin.co.uk/japan/a-look-inside-an-0-series-shinkansen: 15.9.6; www.ushsr.com/hsr/infrastructure.html: 19.12; www.wikipedia.org/wiki/File:300X_955-6_Maibara_19990714.jpg: 13.24.a; www.wikipedia.org/wiki/File:700C_car_13_interior_20100120.jpg: 12.17.6; www.wikimedia.org/wiki/File:Quake_epicenters_1963-98.png?uselang=ru: 17.19; www.wikimedia.org/wiki/File:Shinkansen-0-Speed-Meter.jpg?uselang=ru: 12.34.a; www.wikimedia.org/wiki/File:Wirbelstrombremse_aktiv.jpg?uselang=ru: 15.5.6; www.wikipedia.org/wiki/File:E5_S11_Sendai_20090725.JPG: 12.4; www.wikipedia.org/wiki/File:G49_Kodama_462_Hamamatsu_20030428.JPG: 12.11; www.wikipedia.org/wiki/File:JRC_N700_series_Z28.jpg: 13.82.a; [www.wikipedia.org/wiki/File:JRW_series381_Yamatoji\(Mahoroba\).jpg](http://www.wikipedia.org/wiki/File:JRW_series381_Yamatoji(Mahoroba).jpg): 13.65; www.wikipedia.org/wiki/File:JRW-500_V2_inHimeji.jpg: 13.10.6; www.wikipedia.org/wiki/File:Shinkansen_Series0_R67_JNRcolor.jpg: 13.10.a; www.wikipedia.org/wiki/File:TGVDuplex_Centre.JPG: 12.13; X2000 // T. 6.: 13.44, 13.52, 13.80, 13.81; *Yokoyama A.* Infrastructure for High Speed Lines in Japan. — NY: UIC; APTA, 2008: 20.17, 20.19.

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 (ПГУПС); автор десятков научных трудов, учебников и учебных пособий.



Юрий Павлович Бороненко — инженер путей сообщения (ЛИИЖТ, 1971 г.), кандидат технических наук (1977 г.), доктор технических наук (1987); специалист в области динамики и прочности подвижного состава, руководитель разработок проектов новых типов вагонов и вагонных тележек, включая высокоскоростные; профессор, заведующий кафедрой вагонов и вагонного хозяйства ПГУПС, генеральный директор ОАО «Научно-внедренческий центр «Вагоны»; автор десятков научных трудов, учебников и 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.); Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, автор более ста научных трудов, учебников и учебных 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 РОАО «Высокоскоростные магистрали» (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), Заслуженный работник транспорта Российской Федерации; организатор и участник разработки ряда крупных железнодорожных проектов; автор десятков научных трудов, учебников и пособий.



Александр Евгеньевич Красковский — инженер путей сообщения (ЛИИЖТ, 1971 г.), кандидат технических наук (1975 г.), доктор технических наук (1988 г.); специалист в области управления и обеспечения безопасности движения на обычном и высокоскоростном железнодорожном транспорте; профессор, заведующий кафедрой радиотехники, директор НИИ управления качеством на железнодорожном транспорте ПГУПС; 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 движением 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.



Дмитрий Владимирович Пегов — инженер-электромеханик (ПГУПС, 1997 г.) специалист в области высокоскоростного подвижного состава высокоскоростного железнодорожного транспорта, управления процессами перевозок на железнодорожном транспорте; начальник мотовagonного депо Санкт-Петербург — Московское Санкт-Петербургского отделения Октябрьской железной дороги — филиала ОАО «РЖД» (2004—2008 гг.), генеральный директор Дирекции скоростного сообщения — филиала ОАО «РЖД», автор десятков научных трудов и учебных 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.



Сергей Сергеевич Сергеев — инженер путей сообщения (ЛИИЖТ, 1983 г.), психолог (Ленинградский государственный университет), кандидат технических наук (2000 г.); специалист в области технологий управления персоналом, современных методов обучения и подготовки кадров, автор методик психологической реабилитации и мобилизации, антистрессовых технологий и обучения оперативного персонала управлению психологическим состоянием, психологического отбора персонала; директор Института прикладной психологии ПГУПС; 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.



Александр Моисеевич Уздин — инженер путей сообщения (ЛИИЖТ, 1970 г.), кандидат технических наук (1978 г.), доктор технических наук (1992 г.); специалист в области сейсмостойкого строительства; член Российской (РАСС) и Европейской (ЕАЕЕ) ассоциаций по сейсмостойкому строительству, член Научно-исследовательского инженерного сейсмического института (Earthquake Engineering Research Institute) США, член Международного общества по системам сейсмозащиты сооружений (ASSISI); профессор кафедры теоретической механики ПГУПС; автор десятков научных трудов, изобретений, учебников и учебных пособий.



Алексей Валерьевич Ширяев — инженер путей сообщения (ЛИИЖТ, 1992 г.), кандидат технических наук (1996 г.), специалист в области электрического подвижного состава, силовых электрических преобразователей, высокоскоростного железнодорожного транспорта; директор Санкт-Петербургского техникума железнодорожного транспорта (СПТЖТ, 1999—2010 гг.); начальник Центра подготовки персонала по обслуживанию высокоскоростных поездов (2010—2013 гг.); начальник Октябрьского учебного Центра профессиональной квалификации; автор десятка научных трудов, учебников, пособий.



Оглавление

От авторов	3
Глава 12. ПОНЯТИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	5
12.1. Основные принципы построения современных высокоскоростных поездов.....	5
12.2. Концепции высокоскоростного подвижного состава.....	10
12.3. Компоновка поездов, пассажирских и служебных помещений вагонов.	
Системы жизнеобеспечения пассажиров и поездного персонала.....	19
Глава 13. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ	36
13.1. Динамика и взаимодействие подвижного состава и пути. Аэродинамика подвижного состава.....	36
13.2. Кузова вагонов и локомотивов высокоскоростного подвижного состава	54
13.3. Ходовая часть высокоскоростного подвижного состава	72
13.4. Сцепные устройства высокоскоростного подвижного состава	89
13.5. Подвижной состав с устройствами для наклона кузова	92
13.6. Примеры технических решений конструкций подвижного состава с наклоном кузова.....	94
13.7. Конструктивные особенности подвижного состава с устройствами, обеспечивающими эксплуатацию на железных дорогах с разной шириной колеи.....	110
Глава 14. ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	120
14.1. Скорость и мощность электрических транспортных средств	120
14.2. Требования к электрическому приводу высокоскоростных поездов	129
14.3. Тяговые электрические двигатели	130
14.4. Тяговые преобразователи электроэнергии	139
14.5. Схемы силовых цепей скоростного и высокоскоростного электроподвижного состава с тяговыми двигателями трехфазного тока и электронными преобразователями	146
14.6. Конструктивные особенности токоприемников высокоскоростного подвижного состава.....	157
Глава 15. ОСОБЕННОСТИ ТОРМОЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ	165
15.1. Тормозное оборудование высокоскоростных поездов	165
15.2. Системы управления высокоскоростными поездами	174
Глава 16. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ «САПСАН» И «АЛЛЕГРО»	184
16.1. Электропоезд «Сапсан»	184
16.2. Электропоезд «Аллегро»	194
Глава 17. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ	203
17.1. Организационное и нормативное обеспечение безопасной эксплуатации ВСМ.....	203
17.2. Планирование и подтверждение обеспечения безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта.....	209
17.3. Обеспечение безопасности в различных хозяйствах ВСМ	212
17.4. Природные риски обеспечения безопасности высокоскоростных железных дорог.....	219

17.5. Высокоскоростные железнодорожные линии в сейсмически опасных районах	225
17.6. Основные требования к персоналу ВСМ и проблемы безопасности	236
17.7. Особенности подготовки персонала для работы на высокоскоростных железных дорогах	238
17.8. Опыт подготовки локомотивных бригад для обслуживания скоростных поездов в России	246
17.9. Противодействие террористическим акциям на ВСМ	247
Глава 18. ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ВСМ	249
18.1. Общие требования к организации движения поездов на ВСМ и принципы их реализации	249
18.2. Становление и развитие принципов эксплуатации и управления движением поездов на ВСМ	255
Глава 19. ОБСЛУЖИВАНИЕ ПАССАЖИРОВ, ВОКЗАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ВСМ	266
19.1. Высокий уровень обслуживания пассажиров — залог эффективности функционирования ВСМ	266
19.2. Особенности вокзалов как крупных общественно-деловых центров	269
19.3. Организация вокзальных комплексов на высокоскоростных железнодорожных линиях	271
19.4. Меры по обеспечению доступности и удобства пользования услугами вокзалов	272
19.5. Преобразование вокзалов ВСМ в транспортно-пересадочные и коммерческие комплексы	275
19.6. Объединение вокзалов ВСМ и аэропортов в процессе создания высокоскоростной транспортной сети	284
Глава 20. ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ СТАЦИОНАРНЫХ УСТРОЙСТВ ВСМ	290
20.1. Становление организационных принципов обслуживания стационарных устройств ВСМ	290
20.2. Проверка состояния стационарных устройств ВСМ	292
20.3. Техническое обслуживание и ремонт пути	311
20.4. Обслуживание систем электроснабжения и контактной сети	327
20.5. Опыт осуществления контроля состояния и обслуживания пути при организации скоростного движения на железных дорогах России	330
Глава 21. ОРГАНИЗАЦИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	335
21.1. Контрольно-диагностические комплексы для оценки состояния подвижного состава в движении	335
21.2. Особенности устройства депо для обслуживания и ремонта высокоскоростного подвижного состава	337
21.3. Техническое обслуживание скоростного и высокоскоростного подвижного состава на железных дорогах России	347
Приложение 1	356
Приложение 2	357
Приложение 3	358
Приложение 4	359
Библиография	361
Источники иллюстраций	364
Авторы	367

Учебное издание

Киселев Игорь Павлович,
Блажко Людмила Сергеевна,
Бороненко Юрий Павлович и др.

**ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ.
ОБЩИЙ КУРС**

Том 2

Учебное пособие

Под редакцией И.П. Киселёва

Подписано в печать 13.01.2014 г.
Формат 60×84/8. Печ. л. 46,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 152.
ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию
на железнодорожном транспорте»
105082, Москва, ул. Бакунинская, д. 71
Тел.: +7 (495) 739-00-30,
e-mail: info@umczdt.ru,
<http://www.umczdt.ru>

Отпечатано в типографии ООО «Донской издательский дом».
344000, г. Ростов-на-Дону, ул. Красноармейская, 170/84.
Тел.: 8(863)280-88-78. e-mail: donidom@mail.ru