

# Повышение скорости движения поездов на железных дорогах Китая

*В процессе повышения скорости движения поездов на действующих линиях железных дорог Китая (CR) пришлось решать сложные технические задачи. Однако разработка и внедрение ряда новых технологий на нескольких направлениях развития разных отраслей железнодорожного хозяйства позволили добиться желаемых результатов.*

## Технический прогресс

С того времени (1 апреля 1997 г.), когда министерство железнодорожного транспорта Китая обнародовало программу повышения скорости движения поездов, максимальная скорость пассажирских поездов на основных магистральных линиях страны, ранее не превышавшая 110 км/ч, достигла 160 км/ч, а на некоторых линиях — и 200 км/ч. Уже в 2002 г. длина участков, на которых поезда стали обращаться с повышенной скоростью, составила более 13,8 тыс. км, или 70 % общей длины основных железнодорожных магистралей.

Работы по повышению скорости движения пассажирских поездов были сосредоточены в регионах крупнейших городов Китая — Пекина, Шанхая и Гуанчжоу. Удалось обеспечить пассажирам возможность совершать поездки туда и обратно на расстояние до 500 км от указанных городов в течение одного дня. Кроме того, стало возможным, отправившись из одного из этих городов вечером, прибыть в пункт назначения, находящийся на расстоянии до 1500 км, на следующее утро или совершить поездку на расстояние 2000 – 2500 км в течение одних суток.

Для достижения таких результатов понадобилось ввести в эксплуатацию 1290 локомотивов и 3740 пассажирских вагонов с увеличенной конструктивной скоростью, уложить примерно 6,1 млн. новых усиленных шпал, 5450 км бесстыкового пути и 8455 рассчитанных на повышенную скорость проследования стрелочных переводов, реконструировать 1485 мостов и путепроводов, обустроить около 4000 км линий четырехзначной автоблокировкой, смонтировать более 6800 комплектов аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации, ликвидировать более 1900 переездов, частично заменив их развязками в разных уровнях, и установить защитные ограждения общей длиной более 5130 км.

Примененные при этом инновационные технические решения позволили не только повысить скорость движения поездов, но также улучшить ситуацию с безопасностью движения и ускорить общее развитие железнодорожного транспорта и смежных отраслей промышленности.

## Проблемы

Повышение скорости движения поездов на действующих линиях железных дорог Китая осложняется рядом обстоятельств, важнейшими из которых являются следующие.

Все строившиеся ранее линии CR проектировались исходя из максимальной скорости движения поездов не более 120 км/ч. Для основных магистралей характерно смешанное движение пассажирских и грузовых поездов, причем эти поезда принадлежат к разным скоростным категориям. Не говоря о том, что повышение максимальной скорости движения поездов до 140 – 160 км/ч связано с огромным объемом работ по реконструкции инфраструктуры, смягчению имеющихся крутых уклонов и кривых малого радиуса, замене стрелочных переводов на новые, допускающие более высокую скорость следования поездов, а также увеличению несущей способности мостов и путепроводов, такое повышение влечет за собой возрастание разницы в скорости поездов разных категорий, а это затрудняет прокладку оптимального графика и может привести к снижению пропускной способности. В условиях недостатка перевозочной мощности основных магистральных линий CR это неприемлемо.

Повышение скорости движения пассажирских поездов до 160 км/ч (при том, что на этих же линиях обращаются грузовые поезда массой 5000 т и более) с сохранением прежней пропускной способности интенсивно эксплуатируемых линий порождает проблемы беспрецедентной для мирового опыта сложности.

## Основные технические аспекты

В 1995 г. министерство железнодорожного транспорта (MOR) и Академия железнодорожных наук (CARS) Китая создали рабочую группу по развитию скоростного движения на железных дорогах страны.

Т а б л и ц а 1

Сравнение теоретических и фактических динамических характеристик электровоза SS8-001

Скорость, км/ч	Коэффициент схода с рельсов		Коэффициент разгрузки колеса		Поперечная сила во взаимодействии колеса и рельса, кН			
	Теоретически	Фактически	Теоретически	Фактически	Левое колесо		Правое колесо	
					Теоретически	Фактически	Теоретически	Фактически
180	0,62	0,63	0,36	0,49	65,4	69,0	60,5	65,1
190	0,65	0,58	0,42	0,46	66,7	64,6	62,1	66,9
200	0,66	0,66	0,44	0,48	64,1	78,5	60,3	75,5

Группе было поручено изыскать пути решения данной задачи с технической точки зрения, для чего к ее работе привлекли специалистов 34 научных и учебных заведений, промышленных предприятий соответствующего профиля и административных органов.

В процессе работы были выделены несколько основных направлений решения технических проблем.

#### *Развитие теории взаимодействия в системе колесо — рельс*

Под руководством специалистов CARS были проведены научные исследования динамического взаимодействия подвижного состава и пути и более глубоко колеса и рельса применительно к эксплуатационным условиям CR с учетом одновременного обращения пассажирских и тяжеловесных грузовых поездов. Основная цель заключалась в определении характеристик рессорного подвешивания перспективного подвижного состава и геометрических параметров путевой структуры действующих линий.

Новые достижения в теоретических исследованиях системы колесо — рельс можно подразделить на четыре аспекта:

- применение метода негладких комбинаций с чувствительной длиной волны в динамическом анализе. С использованием этого метода можно получить такие динамические показатели, как силы во взаимодействии колеса и рельса, коэффициент схода с рельсов и вибрационные ускорения с вариациями негладкой длины волны для локомотивов и вагонов разных типов и серий с учетом индивидуальных характеристик негладкости, а также геометрических

параметров пути в трех измерениях. Это позволяет определить различные значения негладкой чувствительной длины волны и затем, интегрируя эти значения, изучить динамическое поведение подвижного состава под воздействием многих факторов;

- углубление теории устойчивости нелинейного поперечного перемещения и метода цифровой бифуркации для локомотивов и вагонов разных типов и серий. В этих исследованиях было принято во внимание влияние нелинейности геометрии контакта колеса и рельса, нелинейный характер упругого проскальзывания, жесткость рессорного подвешивания, характеристики гасителей колебаний и передачи крутящего момента. С вводом набора идентификационных принципов удалось проанализировать устойчивость единицы подвижного состава в поперечном направлении и в качестве примера определить значения критической скорости прохода по стрелочным переводам и скорости схода с рельсов;

- совершенствование и дальнейшее развитие теории контакта качения Калкера (Kalker) с применением коэффициента трения функционального типа. Эти исследования позволили устранить ошибку в теории контакта качения, касающуюся закона трения Кулона (Coulomb), которая заметно проявлялась при движении подвижного состава с высокой скоростью. Удалось повысить точность анализа динамики подвижного состава;

- применение метода кубической сплайновой функции. Этот метод был использован для определения геометрических взаимозависимостей в системе колесо — рельс, и в сочетании с оптимизацией износа поверхностей катания и структурных параметров подвижного состава позволил изучить пути повышения критической скорости движения.

Результаты теоретических исследований взаимодействия колеса и рельса имеют особое значение для повышения скорости движения поездов. В их свете можно разработать требования к содержанию инфраструктуры на действующих линиях с обращением тяжеловесных поездов, рассчитать и проанализировать параметры рессорного подвешивания скоростных локомотивов, вагонов и моторвагонных поездов. Динамические характеристики скоростного подвижного состава, полученные в ходе испытаний, оказались близкими

Т а б л и ц а 2

Сравнение теоретических и фактических динамических характеристик пассажирского вагона второго класса

Скорость, км/ч	Поперечная сила, кН		Коэффициент разгрузки колеса		Коэффициент схода с рельсов	
	Теоретически	Фактически	Теоретически	Фактически	Теоретически	Фактически
200	56,76	48,79	0,51	0,54	0,64	0,62
210	61,66	61,56	0,58	0,60	0,65	0,76

Таблица 3

## Основные концептуальные характеристики нового скоростного подвижного состава

Тип подвижного состава		Серия подвижного состава	Основные особенности
Локомотивы		Электровозы SS7D (рис. 1) и SS9 (рис. 2), тепловоз DF4D (рис. 3)	Трех- или двухосные тележки; упругая тяговая передача с полым валом; передача усилий тяги и торможения между тележками и кузовом с помощью соединительных тяг; облегченные кузова с обтекаемыми очертаниями лобовой части концевых вагонов; микропроцессорная система управления и контроля; тяговые двигатели мощностью 530 – 900 кВт с усиленной изоляцией класса Н/Н; тяговые трансформаторы повышенной мощности; сглаживающие и фильтрующие реакторы; электродинамический тормоз, заблокированный с электропневматическим тормозом
Пассажирские вагоны		Вагоны семейства 25К разных классов, в том числе двухэтажные	Тележки типов CW-2C, 206KP и 209HS; дисковый тормоз повышенной эффективности с электропневматическим управлением и защитой от юза; межвагонные переходы с резиновыми суфле; централизованное электроснабжение; кондиционирование воздуха; усиленные поглощающие аппараты автосцепок типов 15C, 15H и G1
Моторвагонный подвижной состав	С сосредоточенной тягой	Электропоезд DDJ1 (Big White Shark, рис. 4)	Моторные тележки с полностью подрессоренными тяговыми двигателями и тяговой передачей с полым валом; передача усилий тяги и торможения между тележками и кузовом с помощью соединительных тяг; бесшкворневые поддерживающие тележки; облегченные колесные пары с компактными буксовыми подшипниками; пневматические баллоны в рессорном подвешивании; дисковый тормоз повышенной эффективности с электронно-пневматическим управлением и защитой от юза
		Дизель-поезда из двухэтажных вагонов NZJ1 (New Dawn) NZJ2 (Shenzhou, рис. 5)	Кузова с обтекаемыми лобовыми частями концевых вагонов; осевая нагрузка не более 22,5 т; дизели с электронным управлением впрыском и повышенным пусковым ускорением; система бортового электроснабжения напряжением 600 В постоянного тока; бортовая коммуникационная система Longwords; кондиционирование воздуха
	С распределенной тягой	Дизель-поезда NYJ1 с гидравлической (Beiya) и электрической (Tangshan) передачей	Облегченные кузова трубчатой эллипсоидной конструкции с обтекаемыми лобовыми частями концевых вагонов; отсутствие дерева в интерьерах салонов; бесшкворневые тележки; пневматические баллоны с увеличенным прогибом в рессорном подвешивании; дисковый тормоз с электропневматическим управлением, заблокированный с электродинамическим тормозом; тяговый трансформатор горизонтальной компоновки с высоким импедансом; повышенная энергетическая эффективность и экологичность
		Электропоезд Chungcheng (рис. 6)	

к полученным расчетно-аналитическим путем (табл. 1 и 2), что создало условия для разработки и совершенствования конструкций подвижного состава применительно к инфраструктуре действующих линий.

#### Разработка скоростного подвижного состава

На основе результатов теоретических исследований и испытаний в условиях, приближенных к эксплуатационным, проектно-конструкторские бюро и предприятия промышленности в кооперации с CARS и соответствующими службами CR разработали несколько новых серий локомотивов, вагонов и моторвагонных поездов. За относительно короткий срок (7 – 8 лет) новый подвижной состав, рассчитанный на движение с высокой скоростью, прошел стадии проектирования, испытаний, опытного внедрения и ввода в регулярную эксплуатацию.

К числу такого подвижного состава можно отнести электровозы серий SS7D и SS9, тепловозы серии

DF4DZ, пассажирские вагоны семейства 25К разных классов, в том числе двухэтажные, электро- и дизель-поезда, некоторые из которых также из двухэтажных вагонов. Все они имеют конструкционную скорость 160 – 200 км/ч.

В ходе их разработки были применены различные технические инновации. В области ходовой части созданы новые типы моторных и поддерживающих тележек с усовершенствованным рессорным подвешиванием, обеспечивающим улучшенные динамические характеристики, с опорно-рамным подвешиванием тяговых двигателей и тяговой передачей с применением полого вала, с новыми схемами передачи усилий тяги и торможения между тележками и кузовом с помощью соединительных тяг. В тормозном оборудовании применены дисковые тормоза повышенной эффективности, обеспечивающие меньший тормозной путь, в том числе при экстренном торможении, и системы защиты от боксования и юза. В электрической части созданы трансформато-



Рис. 1. Электровоз SS7D

ры повышенной (до 8,6 М·ВА) мощности, преобразовательно-выпрямительные установки с новыми схемными решениями на базе силовых полупроводниковых элементов и тяговые двигатели с повышенным пусковым крутящим моментом.

Основные сведения о новом скоростном подвижном составе приведены в табл. 3.

#### Модернизация инфраструктуры

Поскольку осуществить коренную реконструкцию всех объектов инфраструктуры на действующих линиях, входящих в программу повышения скорости движения поездов, в относительно короткий срок и с приемлемыми затратами не представляется возможным, было принято решение сконцентрировать усилия на создании нового подвижного состава, рассчитанного на движение с высокой скоростью по существующей инфраструктуре, которую, впрочем, также намечено модернизировать в ограниченных объемах.

В настоящее время повышению скорости движения на действующих линиях препятствует ряд



Рис. 2. Электровоз SS9

факторов. Во-первых, это наличие в пути старых стрелочных переводов, не допускающих проследования поездов с высокой скоростью из-за возникновения недопустимых динамических реакций, во-вторых, малая длина уложенных в путь рельсов, чем обусловлено большое число стыков, неблагоприятно влияющих на характеристики взаимодействия подвижного состава и пути, в том числе с точки зрения износа, а также снижающих уровень комфорта для пассажиров, и, в-третьих, наличие многочисленных кривых малого радиуса, в которых недопустимо движение поездов с высокой скоростью из-за высокого центробежного ускорения, обусловленного недостаточным возвышением наружного рельса.

Для устранения одного из этих факторов — большого числа стыков — технические и организационные возможности уже существуют. Отработаны технологии укладки бесстыкового пути с рельсовыми плетями большой длины и железобетонными шпалами. Различные связанные с этим проблемы решены путем расчетов с применением математического моделирования.



Рис. 3. Тепловоз DF4D



Рис. 4. Моторный вагон электропоезда DDJ1

Решаются также проблемы постепенной замены стрелочных переводов на новые (более пологие), смягчения и улучшения геометрических параметров кривых малого радиуса, усиления конструкции мостов, совершенствования контактной сети с обеспечением надежного токосъема при высокой скорости движения поездов, создания системы текущего содержания и ремонта инфраструктуры, обеспечивающей ее поддержание в надлежащем состоянии. Все это выполняется с ориентированием на относительно небольшие капитальные вложения.

Основные сведения о работах по модернизации инфраструктуры приведены в табл. 4.

#### Совершенствование системы сигнализации

Действующая на линиях CR система автоблокировки с точки зрения длины блок-участков рассчитана на тормозной путь длиной 800 м. В соответствии с программой повышения скорости движения поездов, сопровождающегося, естественно, увеличением длины тормозного пути, длина существующих блок-участков становится недостаточной. Однако перестановка всех светофоров, имеющих на входящих в программу линиях, представляется трудно осуществимой в реальные сроки. Кроме того, системы централизации и блокировки разнообразны, и внедрение совершенно новой системы сопряжено с проблемами совместимости. Непременным требованием к организации работ по совершенствованию системы сигнализации является также минимизация при этом отрицательного воздействия на непрерывающееся движение поездов и разумный объем капитальных вложений.

Успешные исследования и разработки привели к решению применить четырехзначную систему автоблокировки, при переходе на которую с действующей трехзначной требуется перенос только 5 – 10 % существующих светофоров. При этом средняя длина блок-участков не увеличивается, а, наоборот, несколько уменьшается. Для поездов одновременно горящие зеленый и желтый огни светофоров рассматриваются как разрешающий и не требующий снижения скорости сигнал (наподобие зеленого огня в случае трехзначной автоблокировки), так что на пропускной способности линии переход на новую систему не отразится.

#### Безопасность движения поездов

Железные дороги Китая характеризуются огромной территориальной разбросанностью, сложными географическими, природными и геологическими условиями. В то же время при повышении скорости движения поездов необходимо обеспечить полную его безопасность в сочетании с постоянным монито-



Рис. 5. Дизель-поезд NZJ2



Рис. 6. Электропоезд Chungcheng

рингом состояния технических средств независимо от местоположения, и соответствующая информация должна поступать немедленно в любой момент времени.

CARS в целях обеспечения безопасности движения поездов разработала три системы мониторинга.

Напольная система осуществляет измерение поперечных сил во взаимодействии колес и рельсов при проходе поезда. Здесь применен метод синусоидального синтеза, в котором задействованы одно- и двухполупериодные мостовые схемы в сочетании с быстродействующими устройствами сбора, обработки и передачи данных, относящихся к таким важным с точки зрения безопасности параметрам, как коэффициент схода с рельсов, коэффициент разгрузки колес и величина поперечных сил в системе колесо — рельс. При этом одновременно работают восемь измерительных мостовых схем и осуществляется синхронный сбор данных от датчиков вибрации, смещения и скорости и их анализ в реальном времени. Аппаратуру системы можно установить в любом критическом

Т а б л и ц а 4

## Основные направления модернизации инфраструктуры действующих линий

Объект инфраструктуры	Особенности технических решений по модернизации
Стрелочные переводы	Укладка стрелочных переводов марки 12 из рельсов массой 60 кг/м с удлиненными объемно-штампованными остриями и сохранением прежнего местоположения геометрического центра перевода и точки пересечения крестовины; сварка элементов переводов; применение усовершенствованных переводных механизмов наружной компоновки; улучшение геометрических параметров переводов
Бесстыковой путь	Применение компьютеризированных расчетов продольных сил в рельсах; разработка технологии ликвидации поверхностных дефектов заводского происхождения; совершенствование конструкции изолирующих стыков на клеевом соединении
Шпалы и рельсовые скрепления	Применение железобетонных шпал типа III длиной 2600 мм повышенной несущей способности и с меньшим воздействием на балласт, а также рельсовых скреплений типа II и III с упругими клеммами
Кривые малого радиуса	Разработка и внедрение новых стандартов на величину максимального возвышения наружного рельса, длину и геометрические параметры переходных кривых и сбег возвышения наружного рельса; длину прямых вставок в обратных кривых
Мосты	Применение математического моделирования для расчета несущей способности мостов наиболее типичных конструкций на основе теории взаимодействия мостов и подвижного состава; разработка и внедрение новых стандартов на усиление мостов, в первую очередь железобетонных; разработка технологии усиления пролетных строений, в первую очередь ферменной конструкции, и мостового полотна; усовершенствование системы контроля состояния мостов
Контактная сеть	Теоретические исследования и совершенствование геометрических параметров контактной подвески; разработка и использование новых материалов и конструкций, в первую очередь воздушных стрелок; разработка новых методов измерения параметров взаимодействия контактного провода и токоприемника и качества токосъема

месте пути, и сигнал тревоги может быть получен в центре управления движением поездов в течение 10 с. Кроме того, система обладает значительным объемом памяти для хранения информации о происшедших инцидентах.

Система на базе скоростного путеинспекционного вагона типа GJ-4 основана на использовании аппаратуры, в которой применены технологии инерционного ориентирования и полупроводниковых лазерных измерений в сочетании с автоматической привязкой к конкретному месту пути. Основные геометрические параметры пути можно измерять и регистрировать при движении вагона со скоростью 140 – 160 км/ч непрерывно и с высокой точностью. Вагон оснащен двоякой компьютеризированной системой сбора, интеграции, обработки и анализа информации в реальном времени.

Система на базе вагона — измерителя жесткости пути позволяет измерять и регистрировать величину жесткости пути на подходах к мостам и на переходных участках, на переездах, в зонах стрелочных переводов и других критических местах при движении со скоростью до 40 км/ч. Работа вагона основана на использовании двуххордового принципа с длиной хорды, равной длине условного переходного участка, и измерении различий в поколесной нагрузке. Использование вагона позволяет как оптимизировать систему содержания и ремонта пути в критических местах, так и правильно выбрать тип основания и верхнего строения пути при его реконструкции.

### Испытания

Испытания, выполнявшиеся в ходе реализации программы повышения скорости движения поездов, были разделены на три этапа.

В ходе лабораторных испытаний исследовали конструкции и материалы компонентов технических средств, а также отдельных единиц подвижного состава.

В ходе испытаний на экспериментальном кольцевом пути CARS изучали основные технические характеристики пути и подвижного состава.

В ходе комплексных испытаний на участках магистральных линий в условиях, приближенных к эксплуатационным, проверяли совместимость различных технических средств, а также определяли их потенциальную надежность, долговечность и иные важные характеристики.

Испытания третьего этапа проводили на линиях Шанхай — Наньцзин, Пекин — Циньхуандао, Шэньян — Шаньхайгуань и Чжэнчжоу — Ухань в сентябре 1995 — июне 1998 г. В процессе ходовых испытаний скорость движения опытных поездов достигала 240 км/ч.

Каждый цикл испытаний включал до 1000 экспериментальных пробегов, в организации и проведении которых участвовали специалисты всех железнодорожных служб, в том числе путевой, локомотивной, вагонной, сигнализации и связи, электрификации, безопасности движения и эксплуатационной.

## Выводы

Масштабы использования передовых технологий в ходе реализации программы повышения скорости движения поездов поставили железные дороги Китая в ряды лидеров среди многих стран мира.

Смешанное движение скоростных (до 160 км/ч) пассажирских и тяжеловесных (до 5000 т) грузовых поездов на одних и тех же интенсивно эксплуатируемых магистральных линиях не имеет прецедента.

По мере реализации программы средняя маршрутная скорость пассажирских поездов на входящих в программу линиях возросла на 25 % при сохранившихся размерах грузового движения. Среднесетевая приве-

денная грузонапряженность CR достигла 30,45 млн. т брутто/км, и по этому показателю Китай вышел на первое место в мире.

Была разработана и внедрена система обеспечения безопасности и управления рисками при движении поездов с высокой скоростью в сложных эксплуатационных условиях. В течение 6 лет после начала реализации программы повышения скорости движения поездов не было зарегистрировано ни одного инцидента, который можно было бы обусловить фактором скорости. По уровню безопасности CR также вышли на передовые позиции в мире.

*Qian Lixin. Chinese Railways, 2004, № 1, p. 24 – 29.*

# Железные дороги Северной Америки — проблемы и перспективы

*Для многих железнодорожных компаний Северной Америки предыдущие годы были успешными с точки зрения роста перевозок и, следовательно, доходов. Вместе с тем предъявление к перевозке значительно больших объемов грузов выявило проблемы недостатка провозной способности. Поэтапное решение этих проблем и общая экономическая ситуация давали основания для позитивных прогнозов развития железных дорог Северной Америки.*

За первые 47 недель 2004 г. объем грузовых перевозок (в повагонных отправлениях) на железных дорогах США и Канады вырос на 3,6 % по сравнению с аналогичным периодом 2003 г., причем в смешанных сообщениях рост достиг 8,1 %. Доходы пяти из семи железных дорог первого класса в третьем квартале 2004 г. были максимальными по сравнению с получаемыми ранее. Доходы двух остальных не были рекордными, но оказались выше на 5 – 10 % по сравнению с третьим кварталом 2003 г.

Для многих малых и региональных железных дорог последние годы были также успешными: они добились роста перевозок грузов и доходов от них. Представители многих компаний считали, что 2005 г. будет, как минимум, не хуже 2004 г. и что железные дороги, учитывая благоприятные перспективы, смогут увеличить свою долю на рынке транспортных услуг.

Несмотря на рост расходов (на топливо и обусловленных недостатком пропускной способности),

большая часть экспертов оценивает перспективы железных дорог как благоприятные. Причин для такой оценки несколько.

Экономика Северной Америки стабилизировалась. Недостаток провозной способности на грузовом автомобильном транспорте дает возможность железным дорогам выдвигать и реализовывать новые предложения по развитию бизнеса. Несмотря на недостаток поездных бригад, подвижного состава и пропускной способности, некоторые железнодорожные компании выступали с новыми предложениями по перевозкам с более высоким уровнем обслуживания.

## Железные дороги первого класса

Успехи железных дорог связаны не только с улучшением экономической ситуации в целом. Так, с точки зрения администрации компании **Canadian National Railway (CN)**, замедление темпов экономического развития в стране в целом мало отразится на ее деятельности. Что касается CN, то ее возрождение началось с приватизации этой железной дороги первого класса в 1995 г. Прочные связи с грузоотправителями, жесткий контроль за производительностью и ценовая дисциплина, разумная политика в области закупок способствовали стабильному росту доходов, которые в третьем квартале 2004 г. были на 21 % больше полученных за аналогичный период 2003 г. Коэффициент издержек 65,4, лучший среди желез-