



Центр научно-технической информации и библиотек
– филиал ОАО «РЖД»

Дифференцированное Обеспечение Руководства

6/2025

Аэродинамика высокоскоростных поездов

Аэродинамические явления являются важными факторами, которые непосредственно влияют на устойчивость и комфорт движения. К ним могут относиться: сильный ветер, сопротивление воздуха, вибрация подвижного состава, вызванная колебаниями аэродинамической силы, налипание снега на тележки и др. Они также включают изменение давления, сквозняки, возникающие при прохождении поездов, и воздушные потоки, вызывающие смещение балласта. Шум и волны давления, возникающие в туннелях и влияющие на окружающую среду на железнодорожных линиях, также вызваны аэродинамическими явлениями.

В зависимости от роста скорости движения поездов эти явления становятся более значимыми. А по мере роста мировой сети ВСМ стало очень важным находить решение проблем аэродинамики. Японский институт технических исследований железных дорог (RTRI) проводит исследования по прогнозированию и изучению этих явлений и разработке методов их смягчения с использованием цифрового моделирования, экспериментов с использованием физических моделей и полевых испытаний.

Когда скорость поезда увеличивается, сопротивление воздуха быстро возрастает, и это является основным фактором, которое необходимо уменьшить, чтобы снизить потребление энергии. Поскольку высокоскоростные поезда, такие как Синкансэн в Японии, имеют длинные и обтекаемые передние и задние части, сопротивление воздуха промежуточных же вагонов в настоящее время является наиболее важной проблемой. Сглаживание каждой детали этих вагонов является одним из способов эффективного снижения сопротивления воздуха. В последних моделях

Синкансэн для этого используются покрытия бортов тележек, сцепных устройств и других частей поезда.

В RTRI недавно провели испытания в аэродинамической трубе, чтобы оценить влияние на сопротивление воздуха выемок вокруг окон поездов и раздвижных пассажирских дверей. Результаты показали, что сопротивление воздуха раздвижной двери примерно в 20 раз больше, чем у окна. Более того, результаты также показали, что сопротивление воздуха вагона среднего класса с четырьмя раздвижными дверями и 40 окнами может быть снижено примерно на 2,6% за счет сглаживания всех углублений.

Но высокоскоростные поезда могут также использовать сопротивление воздуха с пользой. RTRI разработал систему экстренного торможения, которая использует аэродинамическое сопротивление. Эти компактные устройства расположены на крыше вагона, что сводит к минимуму необходимость занимать внутреннее пространство и обеспечивает достаточную эффективность торможения на высоких скоростях.

На рис. 1 показан аэродинамический тормоз общим весом 36 кг и высотой 65 мм в сложенном состоянии. Тормозные пластины механически соединены таким образом, что открываются и закрываются одновременно в противоположных направлениях. Когда при движении в одном направлении включается тормоз, тормозное устройство разблокирует обе пластины, и они приоткрываются. Поскольку две пластины механически соединены, они открываются одновременно за счет большего сопротивления воздуха у одной из пластин.



Рис. 1. Аэродинамический тормоз в сложенном (слева) и рабочем состоянии (справа)

RTRI были проведены испытания изготовленного прототипа в аэродинамической трубе, чтобы подтвердить тормозные характеристики, а также то, что пластины в сложенном положении не оказывают негативного влияния на уровень шума. Оптимальная компоновка для установки комплекта аэродинамических тормозов на крыше поезда также была определена с помощью испытаний в аэродинамической трубе и цифрового моделирования.

При движении поезда на большой скорости возникает сильный поток воздуха, что напрямую влияет на безопасность пассажиров на платформах станций и в туннелях, а также на обслуживающий персонал и оборудование

на линии.

В настоящее время RTRI проводит исследование аэродинамического следа, оставляемого сразу после прохождения хвостового вагона, с помощью экспериментов с использованием моделей и компьютерного моделирования. Были проведены исследования обтекания хвостового вагона для изучения распределения давления на его поверхности и основных характеристик потоков воздуха на открытых участках (рис. 2). Расчеты распределения давления примерно совпадали с результатами испытаний в аэродинамической трубе.

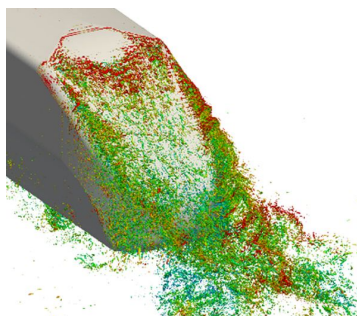


Рис. 2. Численное моделирование обтекания хвостового вагона

Когда носовая часть поезда входит и выходит из туннеля, создается волна сжатия или волна расширения для конечного вагона. Эти волны распространяются в туннеле со скоростью звука и отражаются от входа в туннель, а также от головы и хвоста поезда. При прохождении поезда по туннелю распространяются многочисленные разнонаправленные волны давления. Поскольку колебания давления влияют на туннельное оборудование и облицовку, прогнозирование их величины важно при проектировании прочности туннельного оборудования и конструкции транспортного средства, а также для обеспечения безопасности работников.

Физическая модель может имитировать только движение одного поезда по туннелю, в то время, как максимальное давление создается двумя поездами, проходящими друг мимо друга в двухпутном туннеле. Цифровое моделирование используется для изучения такой ситуации, поэтому RTRI разрабатывает инструменты для прогнозирования изменений давления, рассматривая при этом, как на них влияет форма головного вагона.

Снег, потревоженный проходящими поездами, может налипать на днище поезда и тележки, постепенно скапливаясь в комки. RTRI работает над созданием устройства, предотвращающего скопление снега на тележке. Поскольку снег в основном скапливается на торцах, это устройство призвано регулировать поток воздуха внутри тележки для уменьшения налипания снега. Чтобы оценить его эффективность, RTRI использует модель поезда в масштабе 1:11 с максимальной скоростью 100 км/ч. Измельченная скорлупа грецкого ореха, движение частиц которой аналогично движению снега,

используется для исследования условий образования снежного покрова на тележке и определения характеристик аэродинамики устройства (рис. 3).



Рис. 3. RTRI использует модель поезда и измельченную скорлупу грецких орехов для исследования налипания снега на тележках

В результате исследования был разработан метод компьютерного моделирования процесса образования снежного покрова, учитывающий воздушные потоки, движение летящих снежных частиц и образование снежного налета. Эти расчеты основаны на двустороннем сопряженном анализе. Поскольку теоретический принцип образования снежного покрова был неясен, были проведены испытания и в аэродинамической трубе.

Результаты экспериментов с использованием моделей показывают, что образование снежного покрова определяется скоростью полета снежных частиц и углами их столкновения. На основе этого вывода был разработан алгоритм для определения того, будет ли образовываться снежный покров. Что касается налипания снега на тележку, то результаты цифрового моделирования были подтверждены результатами испытаний в аэродинамической трубе с использованием модельной тележки.

RTRI продолжает разрабатывать конструкции для уменьшения налипания снега с помощью комбинации экспериментальных устройств на основе моделирования и лабораторных исследований.

Аэродинамические явления могут оказывать широкий спектр потенциального воздействия на безопасность, эффективность и комфорт высокоскоростных перевозок. Поскольку все эти явления становятся все более заметными с увеличением скорости движения поездов, они приобретают все большее значение, поскольку операторы по всему миру стремятся к дальнейшему ускорению предоставления своих услуг.

*Источник: railjournal.com, 23.03.2024 (англ.яз.)
сайт rtri.or.jp (англ. яз.)*