

- конструкция рассчитана на общую вибрационную нагрузку, обусловленную монтажом RWB в зоне неподдресоренных масс;

- применены виброустойчивые винтовые соединения и подшипники.

Результаты испытаний этого образца показали, что RWB может применяться на железнодорожном подвижном составе.

Для проведения испытаний в рамках допуска RWB к эксплуатации, а также в ходе подготовки к серийному выпуску необходимы дальнейшие прак-

тические испытания, включающие, например, изучение возможности эксплуатации в зимних условиях. На этом этапе необходимо сотрудничество с различными предприятиями, выпускающими железнодорожную технику. В частности, налажены связи с предприятием Vumar (Польша), которое будет вести работы по подготовке RWB к серийному производству.

H. Sonntag, E. Jansch. Eisenbahntechnische Rundschau, 2005, № 3, S. 132 – 139.

Новая испытательная станция в Вене

В уникальной аэродинамической трубе с регулированием температуры воздуха, расположенной на станции Вена-Арсенал, более 40 лет проводились климатические испытания, а также проверка работоспособности и надежности подвижного состава, его компонентов и узлов в разных условиях. Эта труба использовалась как для исследований в процессе разработки, так и для типовых испытаний в рамках получения допуска к эксплуатации.

Для расширения возможностей этого испытательного объекта, а также с учетом перспектив проведена его полная модернизация, в ходе которой построены две новые аэродинамические трубы.

Основные виды исследований в аэродинамической трубе

Подвижной состав часто подвергается воздействию быстро меняющихся погодных условий. Целенаправленное изучение этих воздействий необходимо для разработчиков вагонов, моторвагонных поездов и локомотивов. Проведение таких исследований в условиях эксплуатации невозможно, поэтому они должны выполняться в стационарных условиях с искусственным воспроизведением погодных факторов. Исследования отдельных узлов можно проводить в небольших климатических камерах. Однако во многих случаях необходимы испытания вагона или локомотива в целом. Для этого служат аэродинамические трубы геттингенского (замкнутого) типа, к числу которых относится труба с регулированием температуры воздуха на станции Вена-Арсенал (АТРТВ).

При этом все виды исследуемых факторов можно разделить на три группы:

- тепловой комфорт;

- работоспособность, производительность, надежность и безопасность;
- аэродинамика.

Тепловой комфорт

Тепловому комфорту в вагонах придается большое значение, особенно с позиций повышения привлекательности железнодорожного транспорта для пассажиров. Работы по исследованию и оптимизации теплового комфорта пассажирского подвижного состава проводятся обычно на одном из первых образцов типовой серии. Для обеспечения благоприятных тепловых условий в вагонах при любых погодных условиях необходимы тщательные исследования в аэродинамической трубе. В зависимости от региона эксплуатации подвижного состава объем и содержание испытаний могут быть различными. Так, подвижному составу для Южной Европы не требуется дорогостоящая система отопления, но необходима достаточно мощная система кондиционирования воздуха, которая даже при температуре +40 °С, относительной влажности воздуха 40 % и интенсивности солнечного излучения до 1000 Вт/м² могла бы обеспечить оптимальный микроклимат в вагонах.

В ряде публикаций по этой теме определены три климатические зоны эксплуатации поездов дальнего следования в летний и зимний периоды, а также сформулированы требования к тепловому комфорту, на уровень которого оказывают влияние следующие основные факторы:

- температура воздуха;
- температура поверхности окружающих объектов;
- влажность воздуха;
- скорость движения потоков воздуха.

Для теплового комфорта пассажиров важное значение имеет правильное соотношение всех этих фак-

торов, так как человек часто не в состоянии определить, какой из них вызывает чувство дискомфорта. При правильном учете всех указанных факторов достигается такое состояние, которое воспринимается как благоприятное максимально возможным числом пассажиров, находящихся в салоне.

Обеспечение теплового комфорта, естественно, связано с дополнительным расходом энергии для питания соответствующих систем. Исходя из ужесточения требований в отношении экономии энергии на железных дорогах большое значение должно уделяться вопросам эффективного использования энергии вспомогательными агрегатами с учетом их роли в создании теплового комфорта.

Работоспособность, производительность, надежность и безопасность

Практически любые отдельные узлы подвижного состава могут подвергаться испытаниям с воспроизведением сложных климатических условий с целью проверки технических характеристик, безопасности и надежности подвижного состава.

Классификацию испытаний по видам можно заполнить, например, в зависимости от требуемых условий их проведения:

- при экстремальных температурах — испытания механического, электротехнического оборудования и электронной аппаратуры;
- при дожде — проверка герметичности окон и дверей, работы стеклоочистителей;
- при мокром снеге — испытания сцепок, токоприемников, дверей, тормозов;
- при сухом снеге — испытания воздухозаборных устройств, межвагонных переходов;
- при обледенении — испытания всех механических узлов (например, токоприемников и дверей), подвергающихся большим механическим нагрузкам.

Аэродинамика

Аэродинамическую трубу с регулируемой температурой воздуха можно также использовать для аэродинамических испытаний. При испытаниях этого вида определяют величину сопротивления воздуха и коэффициент подъемной силы путем измерения действующих сил, а также измеряют давление и исследуют воздушные потоки вокруг испытываемого объекта.

Такие узлы, как токоприемники и стеклоочистители, можно испытывать на натурных образцах.

Для аэродинамических испытаний вагона или локомотива в целом, например при изучении воздействия бокового ветра на его устойчивость или влияния обтекающих потоков на работу системы кондиционирования воздуха, используются модели.

Новые взаимоотношения между изготовителями подвижного состава и заказчиками

Компании-операторы, эксплуатирующие подвижной состав, должны оказывать транспортные услуги, учитывая пожелания и запросы пассажиров. В связи с этим они выдвигают определенные требования к качеству и характеристикам подвижного состава, которые должны находить отражение в технических условиях. Реализация этих требований, которая раньше до мельчайших деталей контролировалась заказчиком, т. е. компанией-оператором, в настоящее время все в большей степени переходит в компетенцию поставщика.

Таким образом, происходит постоянное перераспределение ролей между предприятиями-изготовителями и компаниями-операторами. Разработчики и изготовители включают в круг своих производственных задач многие вопросы, которые раньше были в компетенции заказчиков. Такое распределение ролей обеспечивает изготовителю большую, чем раньше, свободу в создании подвижного состава различных модификаций на базе стандартизированных модулей. Расширение предпринимательской свободы повышает шансы изготовителя, но в то же время увеличивает риски, снизить которые можно только за счет высокой компетентности специалистов и соблюдения технологической дисциплины.

Наряду с безусловным выполнением технических условий и требований техники безопасности одним из решающих критериев качества подвижного состава с точки зрения эксплуатации является его надежность.

Любое решение даже о самых небольших изменениях в системе обеспечения качества продукции, особенно в отношении безопасности, имеет большое значение для изготовителей подвижного состава.

С точки зрения промышленных предприятий, которым необходимы новые технологии и испытательные установки, передача технологических знаний и предоставление испытательного оборудования должны осуществляться по разным каналам.

Среди основных причин того, что новые технологические разработки все чаще заимствуются у сторонних компаний или организаций, можно назвать следующие:

- возрастающая сложность новых технологий;
- снижение уровня инвестиций в исследования и разработки;
- сокращение длительности жизненного цикла продукта;
- стремление к получению нового продукта, освоению дополнительных или альтернативных технологий и рынков.

Исследователи, генерирующие новые технологические знания, и испытатели должны быть связую-

Технические данные аэродинамических труб RTA

Параметр	Большая труба	Малая труба
<i>Рабочая часть</i>		
Основные размеры, м:		
длина	100	31
ширина	5	
высота	6	
Диапазон температур, °С	От -50 до +60	
Скорость потока, км/ч:		
минимальная	10	
максимальная	250	120
Размеры панели имитации солнечного излучения, м:		
длина	47,5	30
ширина	4,3	
Удельная мощность имитации солнечного излучения, Вт/м ²	1000 (возможно регулирование)	
Виды имитации снегопада	Сухой и мокрый снег	
Интенсивность имитации дождя, л/ч·м ²	До 80	
Комплектация каткового стенда	Привод одной оси	Динамометрическая система
Мощность привода и тормоза каткового стенда, кВт	850	250
<i>Камера предварительного обогрева</i>		
Длина, м	—	30
Температурный диапазон, °С	—	От -5 до +60
<i>Вспомогательная мастерская</i>		
Длина цеха, м	100	60

щим звеном в процессе передачи технологий из науки в производство и создавать дополнительную технологическую стоимость за счет широкого внедрения в практику новых методов и процессов.

Разработка проекта модернизации испытательной станции

На станции для испытаний подвижного состава австрийского исследовательского и испытательного центра Arsenal Research уже более 40 лет используется аэродинамическая труба с регулированием температуры воздуха. В ней испытывают как отдельные узлы и агрегаты (установки кондиционирования воздуха, тормозное оборудование, сцепки, токоприемники и т. д.), так и комплектный подвижной состав (вагоны и локомотивы).

В связи с изменением общих условий, в частности в результате либерализации железнодорожного транспорта, функции исследований, разработки и испытаний все в большей степени переходят от ком-

паний-операторов к изготовителям подвижного состава, в результате чего изменился круг пользователей испытательной станции.

К этому следует добавить, что после 40 лет работы станция достигла предельного технического срока службы. Реконструкция в принципе была возможна, однако и после нее станция не могла бы соответствовать техническим требованиям завтрашнего дня. Кроме того, дальнейшее расширение технических возможностей было нереальным. Предполагалось, что полная модернизация позволит удовлетворять запросы клиентуры, так как станция будет приведена в соответствие с общеевропейскими стандартами.

Из-за того что инвестиции, требовавшиеся для сооружения фактически новой испытательной станции, слишком велики для какой-либо одной компании, разрабатывающей подвижной состав, проект было решено реализовать с привлечением как бюджетных ассигнований, так и частного капитала, т. е. по так называемому принципу PPP.

Федеральное правительство Австрии и власти города Вены участвовали в проекте вложением собственных средств и путем предоставления ссуд, способствуя таким образом долгосрочному финансированию проекта. Остальная часть покрывалась за счет займов. Общий объем инвестиций в строительство новых испытательных установок составил около 65 млн. евро.

В 1996 г. в Австрии была создана компания по финансированию железнодорожной инфраструктуры (SCHIG). Одно из отделений компании занимается разработкой и реализацией PPP-проектов. Для работы над проектом аэродинамической трубы с регулированием температуры воздуха (KWK) SCHIG основала дочернюю компанию Rail Test & Research (RTR). Одной из основных задач этой компании было обеспечение финансирования проекта. Частная компания Rail Tec Arsenal (RTA) получила от RTR право на аренду установки KWK сроком на 30 лет с возможностью ее эксплуатации и сдачи в субаренду. Пайщиками RTA наряду с исследовательским и испытательными центром Arsenal Research являются также известные европейские компании — изготовители железнодорожного подвижного состава, в том числе Bombardier Transportation, Alstom Transport, Siemens SGP Verkehrstechnik и Ansaldo Breda Firema Transporti. Привлечение промышленных компаний гарантирует высокую степень загрузки установки, а следовательно, и экономическую эффективность ее эксплуатации.

Решение о строительстве новой станции принято 1 марта 1999 г. В конце 1999 г. был объявлен тендер, победителем в котором в середине 2000 г. была признана компания ARGE Klima-Wind-Kanal, в состав которой входят AIOLOS, MCE Voest и VA Tech Elin EBG.



Рис. 1. Новое здание испытательного центра RTA

В январе 2001 г. после детального планирования и многочисленных согласований началось строительство. Реализация проекта осуществлялась в рамках жесткого графика. По завершении работ в конце 2002 г. в начале следующего года новая испытательная станция была сертифицирована в соответствии со стандартом ISO 9001:2000. В таблице приведены основные технические данные обеих аэродинамических труб станции.

Технические возможности новой станции

При сборе данных для изучения спроса на новую испытательную станцию помимо железнодорожного подвижного состава были охвачены также и другие транспортные средства, в частности грузовые автомобили и автобусы. С учетом различных требований, предъявляемых этими видами подвижного состава к испытательной аэродинамической установке, а также на базе прогнозирования спроса на испытания было принято решение о строительстве двух аэродинамических труб, которые могли бы работать независимо друг от друга.

На рис. 1 показано здание новой испытательной станции. Каждая из двух аэродинамических труб имеет свой контрольно-измерительный центр, офисы и вспомогательные помещения. Оборудованы

также две мастерские для проведения монтажных и ремонтных работ.

Планировка

По своим конструкционным параметрам обе аэродинамические трубы в основном одинаковы. Воздух с помощью мощного вентилятора (рис. 2) перемещается по замкнутому контуру. При этом он проходит через теплообменник, который может охлаждать его до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ или нагревать до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Влажность воздуха также можно регулировать при температуре выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Аэродинамические трубы различаются длиной рабочей части. У большой трубы она равна 100 м и достаточна для установки секции моторвагонного поезда, состоящей из головного моторного вагона и двух прицепных. Максимальная скорость воздушного потока достигает 300 км/ч. С помощью совмещенного с трубой каткового испытательного стенда можно проводить испытания тягового и тормозного оборудования, причем привод воздействует только на одну колесную пару (мощность привода 850 кВт).

Длина рабочей части малой аэродинамической трубы равна 31 м. Этой длины достаточно для установки одного железнодорожного вагона, грузового автопоезда или автобуса. Максимальная скорость воздушного потока здесь достигает 120 км/ч. Дина-



Рис. 2. Вентилятор большой аэродинамической трубы мощностью 4,75 МВт с диаметром лопастей 6,3 м

мометрическая установка для автомобилей рассчитана на мощность до 250 кВт. С помощью заслонок, установленных в начале рабочей части трубы, можно полностью перекрывать воздушный поток в передней части испытываемого объекта, чтобы, например, имитировать остановки с открыванием дверей.

К малой аэродинамической трубе примыкает камера предварительного нагрева, которая может, с одной стороны, использоваться для предварительного прогрева транспортных средств (выравнивание температуры материалов) и, с другой стороны, служить для проведения климатических испытаний с переменными условиями (например, тепловое моделирование проследования через тоннель в зимнее время).

Характеристики потока и потери давления в рабочей части аэродинамической трубы

В обеих аэродинамических трубах после теплообменника установлен сужающий диффузор с выходным поперечным сечением $16,1 \text{ м}^2$ для обеспечения эффективного обдува исследуемого объекта. Выходное сечение диффузора несколько больше половины поперечного сечения рабочей части аэродинамической трубы, которое равно 30 м^2 (ширина 5 м, высота 6 м). При допущении, что площадь лобовой поверхности подвижного состава равна, например,

10 м^2 , скорость набегающего на нее воздушного потока равна скорости в кольцевом зазоре между подвижным составом и стенкой аэродинамической трубы.

В связи с тем что длина рабочей части, равная 100 м, для аэродинамических труб необычно велика, здесь возникает проблема, связанная с падением давления по ее длине. В результате при постоянном поперечном сечении рабочей части статическое давление в конце испытываемого поезда намного меньше, чем в его начале. Это значит, что, например, отверстия системы искусственной климатизации для забора свежего воздуха и для выпуска отработанного будут находиться в зонах с разным давлением, что не соответствует реальной ситуации, так как на поезд, движущийся по открытому участку, воздействует только атмосферное давление.

Давление по всей длине рабочей части аэродинамической трубы можно было бы поддерживать постоянным, если выполнить ее в виде диффузора, т. е. расширяющейся по направлению потока. Однако недостатком такого решения является то, что скорость воздушного потока вдоль испытываемого поезда снижается.

С помощью расчета параметров воздушного потока в рабочей части аэродинамической трубы с помещенным в нее поездом можно исследовать тепловой баланс вагонов. Если не рассматривать излучение, он складывается из двух тепловых потоков: конвекционного, обусловленного подводом и отводом воздуха, и кондуктивного, возникающего в результате теплообмена на наружных стенках поезда. Конвекционный теплообмен является преобладающим, и поэтому он должен воспроизводиться как можно точнее. Следовательно, поддержание постоянного статического давления вдоль всего поезда имеет гораздо большее значение, чем точность воспроизведения скорости воздушного потока на его внешней поверхности. Цифровое моделирование потока (CFD) показало, что для достижения компромисса оптимальная величина угла раствора должна быть равна $0,2$ град.

Моделирование солнечного излучения

Для моделирования солнечного излучения в большой аэродинамической трубе установлена боковая панель длиной 47,5 м из свето- и теплоизлучающих элементов. В малой трубе смонтирована такая же панель длиной 30 м. Панели расположены таким образом, чтобы охватывались крыша и одна из боковых поверхностей исследуемого объекта и обеспечивалась равномерная интенсивность облучения (рис. 3).

Для облучения лобовой части подвижного состава (в зоне набегающего потока) установлена другая панель, которая не создает помех для набегающего

воздушного потока. При этом ее положение регулируется в соответствии с очертаниями испытуемого объекта.

Моделирование снегопада, дождя и обледенения

Установка со специальными соплами для имитации снегопада, дождя или обледенения размещается в аэродинамической трубе таким образом, чтобы обеспечивалась равномерная подача воды по всей поверхности подвижного состава. Для имитации локальных воздействий снега, обледенения или дождя вдоль камеры установлены специальные подводы, к которым могут подключаться соответствующие дополнительные сопла. Система используется в диапазоне скорости до 160 км/ч и температуры до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В зоне крыши подвижного состава по всей длине обеих аэродинамических труб предусмотрена также дождевальная установка, рассчитанная на имитацию осадков интенсивностью $80\text{ л/ч}\cdot\text{м}^2$. Кроме того, камеры разбиты на сегменты длиной по 15 м, которые можно подключать или отключать, обеспечивая таким образом ступенчатое регулирование длины рабочей части.

Система отвода отработавшего воздуха

Для подвижного состава с двигателями внутреннего сгорания в первой трети рабочей части аэродинамической трубы предусмотрено по два отверстия в крыше и боковых стенках для отвода выхлопных газов. Массовый выход газов через эти отверстия может устанавливаться от 0,32 до 3,2 кг/с при температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. При использовании отверстий только в боковых стенках выход не превышает 0,2 кг/с при той же температуре.

В малой аэродинамической трубе отверстия для вывода выхлопных газов предусмотрены как в крыше, так и в боковых стенках в средней части камеры. При одновременном использовании обеих групп отверстий массовый выход газов также может устанавливаться в пределах от 0,32 до 3,2 кг/с при температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. При использовании только боковых отверстий максимальный выход составляет 0,7 кг/с



Рис. 3. Испытания регионального поезда с имитацией солнечного облучения

при температуре $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, что особенно важно для автомобильного подвижного состава.

Выводы

Новая испытательная станция с двумя аэродинамическими трубами для железнодорожного и автомобильного подвижного состава является уникальным сооружением с технической точки зрения. Необычна также и ее организационная структура, в основе которой лежит стратегический альянс европейских промышленных предприятий — изготовителей подвижного состава и новой испытательно-эксплуатационной компании Rail Tec Arsenal.

Исследования и испытания, проводимые на объектах РТА, играют важную роль в процессе разработки подвижного состава. Испытания в аэродинамической трубе не только способствуют повышению качества, но и снижают производственные затраты при создании новых транспортных средств, а также способствуют укреплению позиций причастных компаний на международном рынке транспортной техники.

G. Haller. Glasers Annalen, 2002, 126 Tagungsband SFT Graz, S. 22 – 27.