

Вращающийся вихретоковый тормоз

Принцип торможения железнодорожного подвижного состава с использованием вихревых токов уже нашел применение в линейном вихретоковом тормозе (LWB), которым оснащены поезда ICE3 железных дорог Германии (DBAG). Основными его достоинствами являются отсутствие износа и экологичность. Применение LWB в повседневной эксплуатации требует особо тщательной подготовки пути, на котором этот тормоз используется.

В случае вращающегося вихретокового тормоза (RWB) такая подготовка пути не требуется. При этом тормоз может быть установлен на любом подвижном составе. В грузовых автомобилях большой мощности RWB применяется уже несколько лет.

Вращающийся вихретоковый тормоз, применяемый на грузовых автомобилях, не изнашивается и позволяет плавно регулировать тормозное усилие. На спусках RWB обеспечивает безопасное движение автомобиля с заданной максимальной скоростью. При этом фрикционный тормоз находится в резерве. Он не нагревается и в случае опасности позволяет быстро остановить автомобиль.

Практически применить RWB на железнодорожном подвижном составе планируют железные дороги Китая. Здесь большой объем грузовых перевозок выполняется на углевозных линиях, которые идут от месторождений в глубине страны к индустриальным центрам, расположенным ближе к побережью. На этих линиях имеются затяжные уклоны в сторону побережья. Углевозные поезда оснащены обычными пневматическими колодочными тормозами. В связи с этим допустимая максимальная скорость на линиях в сторону побережья и, соответственно, провозная способность линии невелики. Применение в этих условиях неистощимого, не подверженного износу и работающего в длительном режиме тормоза обещает дать значительные технико-экономические преимущества.

Разработка вращающегося вихретокового тормоза для железнодорожного подвижного состава

В Германии попытки разработать вихретоковый тормоз RWB ранее предпринимались, в частности, проектным бюро высокоскоростного движения DB

(бывших Государственных железных дорог ФРГ) в 1986 г. Из-за ряда технических трудностей эти исследования не были завершены. Однако в то время уже были готовы разработки, относящиеся к выбору материала ротора RWB и способу регулирования поля в зазоре между ротором и статором.

В дальнейшем эти разработки были продолжены применительно к автомобильному транспорту и завершились созданием надежного, экономичного и экологичного тормоза.

Сравнение вращающегося вихретокового тормоза с линейным

С появлением поездов ICE3, оснащенных линейным вихретоковым тормозом, преимущества последнего стали очевидными. Тормоз LWB предназначен для использования при скорости 300 км/ч и выше на уклонах до 40 ‰, чтобы обеспечить эффективное гашение высокой кинетической энергии, приобретаемой поездом на уклонах.

В поезде ICE3 длиной 200 м тяговая мощность, а следовательно, и мощность электродинамического торможения составляет 8 МВт, максимальная мощность LWB достигает 13 МВт. Таким образом, в сумме оба тормоза обеспечивают мощность 21 МВт.

При использовании LWB происходит нагревание рельсов, что приводит к возникновению дополнительных напряжений в сварных рельсовых плетях, если производятся частые торможения на отрезке небольшой длины. Появление этих дополнительных напряжений требует соответствующей конструкции пути с высокой сопротивляемостью к выбросу (с тяжелым верхним строением балластного пути или пути на жестком основании). При этом не должен превышать определенный температурный предел нагрева рельсов (80 °С для пути на жестком основании). Кроме того, электрические коммутационные устройства в пути должны быть устойчивыми к вихревым токам.

По сравнению с LWB тормоз RWB имеет преимущества, обеспечивающие возможность:

- установки на подвижном составе любого вида;
- частичной подмены фрикционного тормоза;
- использования в определенном диапазоне скорости в качестве служебного;
- эксплуатации без ограничений на любых участках пути.

Сравнение RWB с фрикционным тормозом

При эксплуатации современных колодочных или дисковых фрикционных тормозов происходит следующее:

- колеса испытывают высокие термические нагрузки, особенно на затяжных спусках (средняя термическая мощность достигает 50 кВт на одно колесо);
- генерируется шум высокого уровня, особенно в случае грузовых поездов (до 91 дБ(А) при скорости 100 км/ч).

Использование в этих условиях колес с шумопоглощающими элементами (абсорберами) невозможно. В случае применения дисковых тормозов некоторое снижение уровня шума возможно путем изменения материалов пары трения. В диапазоне высокой скорости такую пару можно составить из стального диска и металлокерамических тормозных накладок. Стоимость ее при этом в 10 раз выше, чем у обычно применяемой.

Целью разработки RWB для железнодорожного подвижного состава является значительное уменьшение или полное устранение системных недостатков, присущих колодочному и дисковому тормозам при сохранении или повышении эффективности торможения. При этом должны быть обеспечены надежность, экологичность и экономическая эффективность.

В эксплуатации RWB может частично или даже полностью заменять фрикционный тормоз. Так, на грузовых автомобилях с использованием RWB выполняется от 10 до 25 % торможений.

Конструкция и характеристики RWB для железнодорожного подвижного состава

В 2000 г. DBAG возобновили исследования в области RWB, базируясь на техническом уровне, достигнутом для вихретокового тормоза, устанавливаемого на грузовых автомобилях.

При использовании RWB тормозные силы через колесо передаются на рельсы. В этом отношении он не отличается от колодочного и дискового тормозов. Отличием является то, что RWB не может быть использован в качестве стояночного тормоза. Однако он не блокирует колесные пары, т. е. исключает возможность проскальзывания колес. Вихревые токи, создающие силу торможения, индуктируются в тормозном диске RWB лишь при вращении ротора. Если частота вращения ротора, а следовательно, и колесной пары слишком мала, тормозная сила стремится к нулю. Для остановки в диапазоне низкой скорости необходимо применять фрикционный тормоз.

Тормоз RWB имеет следующие преимущества:

- может использоваться в длительном режиме, например на затяжном спуске;

- не изнашивается;
- почти бесшумен (не более 30 дБ);
- не образует металлической пыли при торможении;
- хорошо регулируется;
- не требует больших затрат на обслуживание;
- позволяет вводить усовершенствования;
- не вызывает блокирования колесных пар;
- имеет большой срок службы;
- не вызывает нагрева рельсов;
- не оказывает влияния на путевые коммутационные устройства.

В то же время RWB имеет ряд недостатков:

- требует электроснабжения для создания тока возбуждения;
- не исключает необходимости дополнительного применения фрикционного тормоза;
- относительно дорог;
- создает дополнительную массу;
- занимает дополнительный объем;
- не заменяет магнитно-рельсового тормоза;
- во время работы ротор нагревается до 400 °С.

Возможные области применения RWB:

- в качестве регулируемого тормоза на длинных спусках. При этом возможно движение с максимальной скоростью, допускаемой техническими характеристиками пути и подвижного состава;
- в условиях частого изменения скорости движения;
- для торможения с высокой скорости движения до момента включения фрикционного тормоза (при скорости около 40 км/ч).

Современный RWB для автомобильного транспорта является результатом многолетних технических разработок, поэтому использование его специальными железными дорогами в качестве базы для собственных разработок дает большие выгоды. Материал ротора обладает высокой термостойкостью и при температуре выше 400 °С почти не расширяется. При

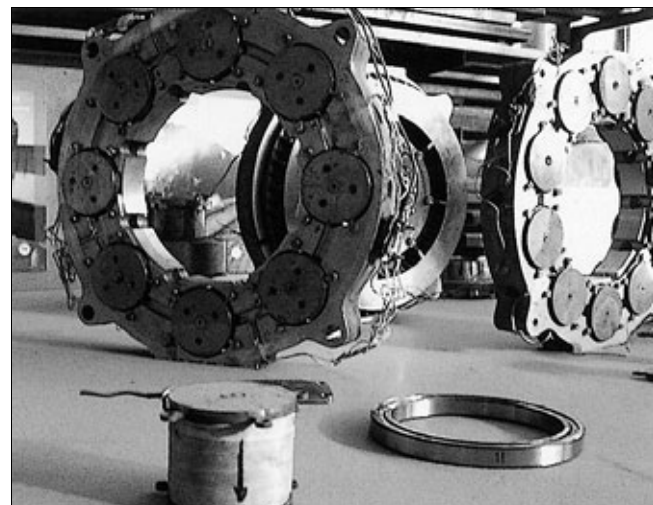


Рис. 1. Компоненты RWB

этом его магнитная проницаемость снижается в незначительной степени.

Зазор между ротором и статором (не более 1,5 мм) поддерживается постоянным с помощью соответствующего устройства. Применение электронного регулирования тормозной силы при современном программном и аппаратном обеспечении позволяет добиться в эксплуатации RWB чрезвычайно высокой степени надежности, которая 15 лет назад была нереальной.

Основные элементы тормоза RWB показаны на рис. 1.

Исследование целесообразности и реализуемости проекта

Технологию RWB необходимо было разработать с учетом опыта производства и эксплуатации всех до сего времени использовавшихся тормозных систем: пневматической, электродинамической и магнитно-рельсовой. В связи с этим в 2002 г. начались исследования с целью определения реализуемости проекта. Созданная для этого рабочая группа включала экспертов ряда компаний-изготовителей: Kloft в Лимбурге, Knecht в Кемптене (обе — Германия), Multiretarder International в Мадриде, а также специалистов DB Systemtechnik, входящей в холдинг DBAG, и компании Ingenieurwerkstatt в Эльтвилле (Германия).

Группа на первом этапе работы выделила для тормоза RWB три основные области применения:

- А — тяговый подвижной состав;
- В — прицепные пассажирские вагоны;
- С — грузовые вагоны.

Требования, предъявлявшиеся к процессу торможения, базировались на Правилах строительства и технической эксплуатации железных дорог (ЕВО). Согласно этим правилам железнодорожная инфраструктура и подвижной состав должны удовлетворять требованиям безопасности и безотказной эксплуатации. Эти требования считаются выполненными, если инфраструктура и подвижной состав соответствуют техническим нормам aRT. Отклонения от норм aRT возможны лишь в случае, если при этом обеспечивается такой же уровень безопасности, что и при полном соблюдении этих норм.

В качестве составных частей aRT можно рассматривать стандарты DIN, VDI и документы МСЖД, согласно которым тормоз RWB следует отнести к инновационной прогрессивной технике. Таким образом, этот вид тормоза может иметь отклонения от требований aRT, если обеспечивает такой же уровень безопасности.

Последнее могло быть выполнено при соблюдении двух условий:

1. Пассажиры, пользующиеся подвижным составом, оснащенным данным устройством, и персонал должны быть полностью гарантированы от рисков (включая травмирование со смертельным исходом) по вине этого устройства;

2. Реализованы все мероприятия по обеспечению безопасности, затраты на которые могут считаться адекватными достигнутой эффективности.

Перечень конкретных требований, предъявляемых к процессу торможения согласно ЕВО § 2 (1, 2), имеет следующий вид:

- регулируемое плавное замедление;
 - обеспечение требуемой длины тормозного пути;
 - автоматическое срабатывание;
 - неистощимость в отношении среды, создающей тормозной эффект;
 - соответствие действующим нормам и правилам;
 - отсутствие недопустимых воздействий на окружающую среду и невосприимчивость к обратным воздействиям (например, электромагнитного излучения);
 - низкий уровень излучаемого шума;
 - малый износ;
 - возможность активизации пневматического тормоза при отказе RWB или при полном торможении;
 - возможность учета тормозной позиции и степени загрузки вагона при формировании задаваемого значения тормозного усилия RWB;
 - беспрепятственный переход с одной системы торможения на другую.
- При этом по сравнению с существующими тормозными системами должен обеспечиваться тот же или более высокий уровень:
- безопасности;
 - надежности;
 - эксплуатационной готовности;
 - удобства технического обслуживания;
 - экологичности.

Методика исследований

Целью исследований RAMS (в соответствии с европейским стандартом EN 50126 под этим термином понимается определение применимости с учетом комбинации параметров: надежности, эксплуатационной готовности, удобства технического обслуживания и безопасности) было выяснение еще до создания опытного образца возможности изготовления и эксплуатации нового тормоза, а также всех рисков, обусловленных его конструкцией.

На первом этапе нужно было четко определить конфигурацию системы. Участие в исследовании специалистов самых разных областей науки и техники потребовало понятного для всех описания и конкретизации анализируемой системы. При этом нужно было требовалось ориентировочно определить объем

поставок и конкретизировать области стыкования системы в общей конструктивной структуре подвижного состава.

К моменту начала исследований еще не существовало окончательного проекта RWB. Требования к системе, предназначенной к железнодорожной эксплуатации, еще нужно было разрабатывать, при этом сначала необходимо было сформулировать требования к функциональным подсистемам.

Текстовую часть требований к системе, ее конфигурации и областям стыкования, а также к ее функциям в различных вариантах использования нужно было дополнить графическим материалом в виде графика процессов выполнения и технического структурного дерева.

Работы в области исследования безопасности системы были разделены на четыре этапа:

- анализ видов опасности;
- анализ рисков;
- оценка рисков;
- планирование мероприятий.

На первом этапе исследований идентифицировали виды опасностей, которые могли быть связаны с эксплуатацией RWB. Это позволяло найти слабые места системы еще на предпроектной стадии.

Выбор методов исследования, подбор персонала, принцип формирования рабочих групп и профессиональное руководство работами являются решающими факторами, определяющими качественный результат. На данном этапе исследования руководящие функции доверены компании Ingenieurwerkstatt. С помощью современных методов анализа получены необходимые данные, позволившие составить структурированную документацию по всем возможным опасностям системы для людей и окружающей среды.

Указанный документ содержит перечень и описание опасностей со стороны деталей и компонентов системы (электромагнитные помехи, возможность взрыва электрических компонентов и т. д.), а также опасностей, связанных с работой системы, например отказом системы управления. Прочие опасности возникают в силу специфических условий и характера эксплуатации.

Для проведения анализа рисков разработано много методов, из которых для первой фазы исследований был выбран FMEA (анализ последствий отказа отдельных компонентов, возможностей его возникновения и общего влияния на систему). Этот метод удобен в применении на разных этапах разработок и дает достоверные результаты.

При проведении анализа FMEA определяются виды рисков и оценивается воздействие компонентов на всю систему. Таким образом, FMEA дает качественную оценку системы в отношении выхода из строя отдельных компонентов и при общей оценке

склонности системы к отказам является решающим источником данных.

Тормоз RWB квалифицируется как дополнительная система торможения на подвижном составе. Однако включение в систему вспомогательного звена не означает, что безопасность автоматически повышается. В то же время с увеличением числа систем результирующие риски не должны увеличиваться до недопустимых размеров.

Одной из целей анализа FMEA была своевременная идентификация деталей и компонентов RWB, которые могут оказать негативное влияние на остающуюся в поезде систему пневматического торможения. Нужно было также определить, могут ли в системе RWB возникать такие отказы, которые нельзя диагностировать и которые в худшем случае могут остаться необнаруженными.

По всем идентифицированным возможностям отказов специалисты рабочей группы должны дать оценку в отношении вероятности их возникновения и опасности для человека, представив таким образом первое суждение о значимости результирующих рисков. На этой основе формулируются рекомендации по технической реализации методов обнаружения отказов или их компенсации. Благодаря этим мерам, принимаемым на ранних этапах разработки, удается избежать значительных расходов на реализацию корректирующих мер в более поздние сроки.

При исследовании безопасности речь идет об итеративном процессе. В ходе дальнейших разработок это означает техническую поддержку мер по выполнению заданных требований и контроль их реализации. При разработке проекта системы необходимо на основе расчета надежности определенных компонентов дать количественную оценку вероятности их отказов. Результаты моделирования, стендовых и прочностных испытаний материалов дают необходимые дополнительные данные для окончательной оценки рисков.

На последнем этапе исследования безопасности результаты оценки рисков проверяются в сочетании со всем каталогом мероприятий по обеспечению безопасности, что позволяет судить о том, находятся ли указанные риски в допустимых пределах.

Результаты анализа FMEA

К моменту проведения анализа система тормоза RWB вместе со схемами управления и регулирования находилась еще в стадии разработки. Об автомобильном варианте RWB изготовители и разработчики получали только положительные отзывы. Тормозная мощность грузовых автомобилей и автобусов значительно повысилась, износ обычных тормозов снизился за счет менее интенсивного их использова-

ния. Что касается срока службы тормоза, то он зачастую оказывается больше, чем у автомобиля, на котором он установлен. В результате его можно впоследствии устанавливать на другом автомобиле.

Для использования RWB на железнодорожном подвижном составе необходимо согласование системы со специфическими особенностями эксплуатации железных дорог. Как правило, это реализуется техническими средствами, но иногда требуется доказывать соответствие системы требованиям EBO § 2 (2).

Согласование системы предполагает следующие моменты:

- схема управления RWB во всех вариантах применения (А, В и С) должна быть согласована с существующей системой торможения поезда. В вариантах применения А и В сигналы передаются в электронном виде непосредственно от центрального тормозного компьютера по поездной шине к локальным исполнительным устройствам RWB. В связи с отсутствием поездной шины в варианте С используется пневматический сигнал, передаваемый по тормозной магистрали МСЖД к датчику давления. Здесь с помощью измерительной схемы пневматический сигнал преобразуется в электронный (в соответствии с задаваемым значением) и передается далее на исполнительные устройства;
- при пробе тормозов в варианте С результат проверки, например «RWB в порядке», из-за отсутствия поездной информационной шины передается с помощью оптического сигнала;
- отдельные единицы подвижного состава варианта С не имеют бортовой сети электроснабжения. В связи с этим каждый вагон, оснащенный тормозом RWB, должен иметь аккумуляторную батарею и осевой генератор. При поиске других возможностей следует прежде всего учитывать факторы безопасности и экономической целесообразности;
- в диапазоне скорости ниже 40 км/ч функции торможения должны передаваться от RWB фрикционному тормозу;
- неистощимость тормоза RWB и возможность обеспечивать требуемый тормозной путь должны проверяться путем соответствующих испытаний;
- зависимость тормозного момента от температуры нагрева ротора должна быть устранена конструктивными мерами;
- крепление RWB на оси колесной пары должно быть болтовым, а не прессовым, как на автомобилях;
- при отказе RWB пневматический тормоз должен включаться как резервный.

Эти требования должны быть подтверждены документально и могут быть использованы службами, осуществляющими допуск к эксплуатации, для подтверждения применимости системы в условиях железнодорожной эксплуатации. Этим же целям могут служить результаты испытаний на стенде.

Экономическая эффективность

Вращающийся вихретоковый тормоз не может полностью заменить ни одну из применяемых тормозных систем. В связи с этим его следует классифицировать как вспомогательный, внедрение которого требует определенных инвестиций, связано с увеличением массы и выделением дополнительного пространства для установки на оси колесной пары.

В то же время RWB может быть самостоятельно использован в качестве служебного тормоза при скорости выше 40 км/ч. Он хорошо регулируется, не излучает шума высокого уровня, не изнашивается и не образует металлической пыли. Последние свойства относятся к экологическим и также требуют экономической оценки.

Основная экономия в случае оснащения подвижного состава тормозом RWB достигается благодаря уменьшению износа тормозных колодок и тормозных дисков. Это снижает затраты на ремонт и повышает эксплуатационную готовность подвижного состава за счет меньшей продолжительности простоя в ремонте. Эта экономия окупает инвестиционные затраты на RWB.

Размеры затрат, связанных с износом компонентов традиционных тормозов, могут быть иллюстрированы следующим примером. Так, в период с июня по октябрь 1995 г. закупки тормозных накладок для промежуточных вагонов поездов ICE по сравнению с периодом с января по май того же года увеличились на 40 % из-за повышенного износа. Это соответствует приобретению за это время 30 тыс. пар накладок. Затраты лишь на материал для них составили 2 млн. нем. марок. В концевых моторных вагонах ICE повышенного износа не отмечено, так как в них преимущественно используется электродинамическое торможение.

Увеличение затрат на накладки связано не только с высокими летними температурами, но также и с повышением максимальной скорости с 250 до 280 км/ч. Энергия, которая гасится при торможении, находится в квадратичной зависимости от скорости, поэтому в данном случае при увеличении последней до 280 км/ч энергия возрастает на 25 %. При этом температура трущихся поверхностей увеличивается на 12 %.

На высокоскоростной линии Ганновер — Вюрцбург при максимальной скорости 250 км/ч поезд ICE делает четыре остановки, выполняя соответственно четыре остановочных торможения. После того как максимальная скорость была повышена на 30 км/ч, два остановочных торможения выполняются со скоростью 280 км/ч, при этом дополнительно требуются пять регулировочных торможений для снижения скорости с 280 до 250 км/ч. Это привело к увеличению на 54 % износа тормозных накладок. Если

учесть, что в общем пробеге поездов ICE доля высокоскоростных линий составляет 33 %, общее повышение износа накладок равно 18 %. Если вагоны поезда ICE оснастить тормозом RWB, проблема износа накладок будет полностью решена, так как торможение с 280 до 40 км/ч можно осуществлять без использования дискового тормоза.

Оценка экономической эффективности RWB с помощью моделирования

Институт транспорта, железнодорожного строительства и эксплуатации (IVE) по поручению DBAG провел исследование экономической эффективности RWB на железнодорожном подвижном составе.

Для этого исследовали движение моделей поездов различных типов по моделированным участкам с помощью программы Dynamis. Для каждого сочетания моделей поезда, участка и стратегии торможения выполнили два расчета по следующей методике:

- в первом расчете использовались вагоны только с фрикционными тормозами;
- во втором расчете дополнительно к фрикционным тормозам использовался вихрековый RWB;
- исследования проводили, базируясь на тормозных замедлениях 0,3, 0,5 и 0,8 м/с².

Для различных комбинаций моделей определяли величину тормозной энергии. Рассмотрение величины этой энергии в комплексе с коэффициентом износа и затратами на техническое обслуживание позволило сравнивать износ фрикционного тормоза при наличии RWB и без него. Для этого использовали следующие данные:

- тяговые и тормозные характеристики подвижного состава, параметры тормозных систем;
- параметры вагона, в том числе максимальная осевая нагрузка, допустимая скорость, тормозной коэффициент;
- составность поезда и его тормозная система;
- выполненный пробег подвижного состава;
- характеристика участка, в том числе наличие и крутизна уклонов, допустимая скорость, вид тягового электроснабжения, наличие и параметры тоннелей, стрелочных переводов;
- удельные коэффициенты износа тормозных колодок;
- затраты на изготовление накладок и тормозных дисков, удельный коэффициент затрат на техническое обслуживание.

Результаты математического моделирования

Динамические исследования на модели показали, что при дополнительном оснащении поезда вихрековым тормозом RWB на фрикционные тормоза приходится минимальное количество энергии. Этот

результат не был неожиданным, однако для поездов разных видов получены различные данные. Так, для RWB наиболее «неблагоприятным» оказался вариант поезда дальнего следования, состоящего из семи вагонов, ведомых электровозом серии 101. Этот поезд делает пять остановок на участке общей длиной 62,1 км с одним небольшим уклоном. Развиваемое тормозное замедление составляет 0,3 м/с². Здесь на долю RWB приходится лишь половина тормозной энергии, так как приоритет отдавался электродинамическому торможению. «Благоприятным» для RWB является вариант, при котором на долю RWB приходится 99 % тормозной энергии.

В случае грузовых поездов применение RWB было бы в высшей степени целесообразным и экономически эффективным.

Состояние разработок

После исследования целесообразности и реализуемости проекта, которое подтвердило пригодность системы RWB с точки зрения безопасности, было начато исследование на испытательном стенде в Миндене комплекта тормоза RWB, использовавшегося на автомобильном подвижном составе. Роторы серийных двигателей поставила компания Fundiciones des Estanda (Испания), на предприятии которой компания Knorr Bremse также выпускает тормозные диски для DBAG. Катушки статора изготовила другая испанская компания, выполняющая также заказы компании Siemens.

Наряду с этим в Мадриде компания MISA изготовила доработанный опытный образец RWB, подготовленный для стендовых испытаний (рис. 2). В его конструкции уже учтены некоторые условия эксплуатации, характерные для железнодорожного подвижного состава:

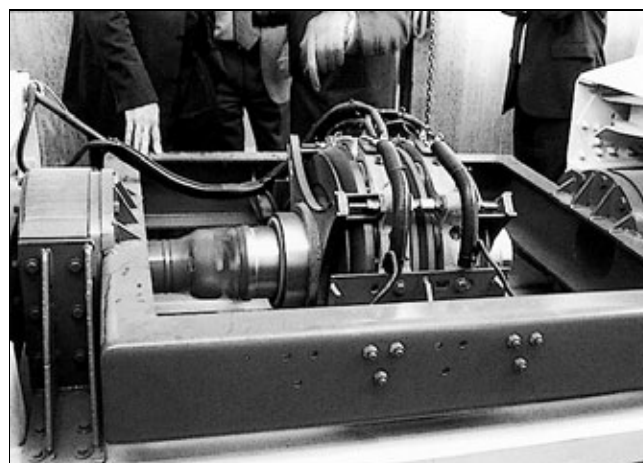


Рис. 2. Опытный образец RWB на испытательном стенде компании

- конструкция рассчитана на общую вибрационную нагрузку, обусловленную монтажом RWB в зоне неподдрессоренных 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-