

Проведенные исследования показали, что величины η_r , $\eta_{тэд}$ и $\eta_{зп}$ при изменении мощности дизеля N_e меняются мало, а наиболее интенсивно изменяются величины η_e и $\eta_{всп}$. Произведение $\eta_e \eta_{всп} = \eta_{дву}$ назовем коэффициентом полезного действия дизель-вспомогательной установки. По своему физическому смыслу $\eta_{дву}$ представляет собой отношение тепла, эквивалентного свободной работе дизеля (т.е. эффективной работе дизеля за вычетом затрат на привод вспомогательных агрегатов), к теплу сожженного топлива. Достижение наиболее экономичного режима работы дизель-вспомогательной установки будет с достаточной точностью обеспечивать максимальный КПД тепловоза.

УДК 629.4.077-592.59

ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ СКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ

Э. И. ГАЛАЙ, Е. Э. ГАЛАЙ

Белорусский государственный университет транспорта

К скоростным относят поезда, предназначенные для движения со скоростями свыше 160 км/ч. Для поезда, составленного из вагонов, оборудованных фрикционными колодочными или дисковыми тормозами, мощность которых ограничивается условиями сцепления колес с рельсами, длина тормозного пути при экстренном торможении со скорости 160 км/ч достигает 1600 м при нормативном нажатии чугунных колодок 800 кН на 100 т массы поезда.

В настоящее время на железных дорогах ряда стран Западной Европы и в Японии эксплуатируются электропоезда со скоростями, значительно превышающими 160 км/ч. Рекорд скорости, установленный на французский железных дорогах 18 мая 1990 г. электропоездом TGV-Атлантик, составляет 515,3 км/ч. В настоящее время во Франции эксплуатируются свыше 200 таких электропоездов. Рейсовая скорость их достигает 300-350 км/ч. Аналогичные скоростные характеристики имеют электропоезда германских железных дорог «Интерсити-Экспресс» (ICE). На японских железных дорогах (линия «Синкасэн») зафиксирован рекорд скорости 352 км/ч.

Электропоезд ЭР200 для скоростей до 200 км/ч, построенный в 1976 г. на Рижском вагоностроительном заводе (РВЗ), в настоящее время совершает рейсы 2-3 раза в неделю между Москвой и Санкт-Петербургом. По заказу российских железных дорог на РВЗ изготовлены вагоны еще для нескольких поездов.

На Белорусской железной дороге реализуемая скорость движения пассажирских поездов не превышает 120 км/ч, а мотор-вагонных поездов - 110 км/ч, хотя в них эксплуатируются пассажирские вагоны, рассчитанные на скорости до 160 км/ч, и электропоезда, имеющие конструкционную скорость 130 км/ч.

Эффективность тормозов скоростного подвижного состава ограничивается, главным образом, следующими факторами:

- для фрикционных колодочных и дисковых тормозов - условиями сцепления колес с рельсами и по тепловому режиму в зоне трения;
- для всех видов тормозов - величиной допускаемого замедления поезда по условиям комфорта пассажиров.

При служебных (регулируемых) торможениях средняя величина замедления рекомендуется $0,5 \text{ м/с}^2$. При экстренных торможениях скоростных поездов допускается максимальное замедление до 3 м/с^2 . Примерно такое же замедление реализуется при посадке реактивного самолета. Рекомендуемая средняя величина при экстренном торможении $0,9-1,0 \text{ м/с}^2$. При таком замедлении длина тормозного пути до полной остановки поезда со скорости 250 км/ч - 2400 м, а со скорости 300 км/ч - 3450 м.

Тормозные системы скоростных поездов, как правило, комбинированные. Они включают в себя фрикционный дисковый тормоз, электродинамический тормоз и рельсовый тормоз - магниторельсовый или токовихревой. Достоинство рельсовых тормозов в том, что их тормозная сила не ограничивается по условиям сцепления колес с рельсами.

Колодочные тормоза на скоростном подвижном составе не применяются из-за повышенного шума, возникающего при торможении поезда на высокой скорости, а также из-за угрозы термического повреждения поверхности катания колес.

Дисковый тормоз поездов ICE и вагонов Wlab на тележках GP200 состоит из трех тормозных дисков, устанавливаемых на каждой ведущей оси, и двух дисков на каждой бегунковой оси. Имеется быстродействующее противоюзное устройство. На поездах TGV устанавливают по четыре тормозных диска на оси. Для поездов TGV и ICE разработаны диски из жаропрочной стали и металло-керамические накладки. Испытываются новые фрикционные материалы типа CFC на базе углерода.

Белорусская железная дорога приобрела несколько вагонов Wlab, которые эксплуатируются в поездах, следующих в Западную Европу. Однако тележки GP200 в Бресте выкатываются из-под вагонов, и по дорогам СНГ эти вагоны следуют на тележках с колодочным тормозом.

Эксплуатационная надежность дисков до развития термических трещин характеризуется количеством остановочных торможений. Для поезда ICE при экстренных торможениях со скорости 250 км/ч, замедлении поезда до 1 м/с^2 температура в зоне трения достигает 300 К (670 °С). Резерв торможений составляет 1000. Для тормозных накладок из композиционных материалов с органическими наполнителями предельной температурой нагрева считают 375 °С. При более высоких температурах происходит ускоренный износ накладки, сопровождающийся деструкцией ее материала и выделением газов с неприятным запахом.

Электродинамический (генераторный) тормоз. Принцип действия этого тормоза основан на переключении тяговых двигателей моторных вагонов в режим генератора. Вырабатываемая в этом случае электроэнергия гасится на специальных резисторах (реостатный тормоз) или преобразовывается и возвращается в контактную сеть (рекуперативный тормоз). Мощность генераторного тормоза несколько ниже, чем мощность двигателей при тяге. Например, в случае поезда ICE моторные вагоны обеспечивают максимальную силу тяги 275 кН, а наибольшая тормозная сила не превышает 160 кН, установленная мощность двигателей поезда в режиме тяги 8400, а в тормозном режиме не более 6600 кВт. Мощность генераторного тормоза наибольшая при скоростях от 20 до 80 км/ч, затем незначительно уменьшается до скорости 180 км/ч (примерно на 8–10 %), затем до скорости 300 км/ч, примерно на 40 % по сравнению с максимальным значением. При торможении рост тормозной силы генераторного тормоза искусственно замедляется с тем, чтобы нарастание замедления не вызывало ощущений дискомфорта у пассажиров.

Рельсовые тормоза. Электромагнитный рельсовый тормоз (ЭМРТ) применялся на первом этапе эксплуатации скоростных поездов. Тормозная сила создается этим тормозом за счет сил трения башмака по рельсу. Башмак прижимается к рельсу в результате действия магнитного поля, создаваемого электромагнитами постоянного тока, причем питание электромагнитов может осуществляться от аккумуляторной батареи (вагоны поезда РТ200 – «Русская тройка») или централизованно от поездной сети. Сила прижатия башмака к рельсу достигает 100 кН. Один башмак ЭМРТ при торможении потребляет электрическую мощность 1 кВт. В процессе эксплуатации ЭМРТ на вагонах скоростных поездов ЭР200, РТ200, ICE выявлены следующие недостатки:

1 ЭМРТ относится к фрикционным тормозам, поэтому его рабочие поверхности подвержены интенсивному износу. Зафиксирован предельный износ башмака при суммарном тормозном пути около 2000 м, поэтому ЭМРТ нецелесообразно использовать при служебных, регулировочных торможениях. Он должен применяться только при экстренном торможении.

2 Тормозная сила ЭМРТ с уменьшением скорости возрастает по экспоненциальному закону и при скоростях ниже 50 км/ч достигает больших значений, что приводит к превышению допустимых величин замедления поезда.

3 Существующие виды ЭМРТ не позволяют осуществлять плавное регулирование тормозной силы.

4 Сложность передачи тормозного усилия на раму тележки через специальные упорные кронштейны.

Отмеченные недостатки явились причиной демонтажа ЭМРТ с вагонов электропоездов ЭР200, а на поездах ICE при модернизации их для движения со скоростями свыше 250 км/ч он заменен на вихретоковый.

Вихретоковый тормоз. По конструкции башмак вихретокового тормоза аналогичен ЭМРТ. Однако тормозной эффект возникает за счет взаимодействия магнитных полей – основного, создавае-

мого башмаком с электромагнитными катушками, и магнитного поля, создаваемого вихревыми токами, наведенными основным магнитным полем в рельсе. Башмак вихревого тормоза жестко закреплен на высоте 6–7 мм над рельсом. Питание его обмоток осуществляется током, вырабатываемым при работе генераторного тормоза. Мощность 24–30 кВт. Тормозная сила одного башмака изменяется в зависимости от скорости (при постоянной силе тока в катушках) в пределах 7–9 кН, возрастая с уменьшением скорости. К достоинствам вихревого тормоза относится полное отсутствие износа поверхности башмака и рельса. В отличие от ЭМРТ он обеспечивает постоянство тормозных характеристик в зоне высоких скоростей. Однако при действии вихретокового тормоза и ЭМРТ отмечен сильный нагрев рельсов.

При эксплуатации скоростных поездов ICE, TGV регулировочные торможения осуществляются генераторным тормозом или генераторным в сочетании с вихретоковым. При экстренном торможении со скорости 300 км/ч с использованием всех видов тормозов удалось достичь значения тормозного пути 3200 м при неблагоприятных погодных условиях (дождь, снег).

Пневматический дисковый тормоз используется для дотормаживания при графических остановках и в качестве резервного при отказе других тормозов.

Аэродинамический тормоз. При движении скоростных поездов они испытывают большое сопротивление воздушной среды, величина которого пропорциональна квадрату скорости. Поэтому, наряду со стремлением уменьшить аэродинамическое сопротивление поезда, ученые и конструкторы оценивают возможность использования аэродинамического тормоза. Практически предполагается найти конструктивные решения, которые позволят изменять коэффициент аэродинамики. Это могут быть управляемые закрылки или устройства, позволяющие регулировать лобовое сопротивление. Однако на железнодорожных экипажах реализованных решений пока нет.

УДК 629.4.077

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОГО РАДИУСА ТРЕНИЯ В ДИСКОВОМ ТОРМОЗЕ

Э. И. ГАЛАЙ, П. К. РУДОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Расчеты дисковых тормозов связаны с уравнением для тормозного момента $M_d = K_n \phi_k r_3$, где K_n – сила нажатия на тормозную накладку; ϕ_k – коэффициент трения материала накладки; r_3 – эффективный радиус трения. Введение эффективного радиуса трения (ЭРТ) в дисковом тормозе обусловлено необходимостью приведения суммарных сил трения накладки к единому радиусу. Это вызвано тем, что элементарные силы трения действуют на различных расстояниях от оси вращения диска. ЭРТ представляет собой плечо действия результирующей силы, равной сумме элементарных сил трения, создающих тормозной момент на оси колесной пары.

При испытаниях на стендах довольно точно измеряется тормозной момент M_d и сила нажатия на накладку K_n . Суммарную силу трения $K_n \phi_k$ непосредственно измерить не представляется возможным, так как элементарные силы трения действуют на поверхности накладки в различных направлениях. Можно измерить отдельные составляющие результирующей силы. Определить коэффициент трения фрикционных пар при исследованиях можно из приведенной выше формулы при известном значении ЭРТ. Однако единой согласованной и обоснованной методики по определению ЭРТ не существует. Исследователями предлагаются различные методы его расчета при равномерном износе накладок:

1 ЭРТ равен среднему радиусу накладки $r_3 = r_{cp} = (r_1 + r_2)/2$, где r_1 – радиус внутренней периферии накладки; r_2 – радиус наружной периферии накладки.

2 ЭРТ проходит через центр тяжести дуги, лежащей на среднем радиусе накладки,

$$r_3 = (r_1 + r_2) \frac{\sin \alpha_c / 2}{\alpha_c}, \quad (1)$$