

2. **Тактовая** сетевая синхронизация / П. Н. Давыдкин, М. Н. Колтунов, А. В. Рыжков. – М. : Эко-Трендз, 2004. – 205 с.

3. **Основы SNMP** / Д. Мауро, К. Шмидт ; пер. с англ. – 2-е изд. – СПб. : Символ-Плюс, 2012. – 520 с. : ил.

4. **Теоретические основы** управления современными телекоммуникационными сетями : монография / А. Н. Буренин, В. И. Курносков. – М. : Наука, 2011. – 464 с.

5. **Построение** фреймовой модели представления знаний в интеллектуальной системе поддержки принятия решений системы управ-

ления сетью тактовой сетевой синхронизации / М. А. Камынина, А. К. Канаев, Е. В. Опарин // Бюллетень результатов научных исследований. – 2012. – № 2. – С. 59–68.

6. **Формирование** базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению сетью тактовой сетевой синхронизации ОАО «РЖД» / М. А. Камынина, А. К. Канаев, Е. В. Опарин // Сборник материалов Второй Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте». – 2012. – С. 238–244.

УДК 629.4.015.3 (075.8)

Н. А. Чурков, А. А. Битюцкий, В. А. Кручек

Петербургский государственный университет путей сообщения

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ПОЕЗД

Воздушная среда создает сопротивление движению железнодорожного поезда, величина которого при скорости более 20 км/ч существенно влияет на его тягово-энергетические характеристики. Пренебречь им уже не удастся. Поэтому, управляя параметрами влияния, можно снизить затраты на перевозки. Установлены причинно-следственные связи аэродинамического сопротивления поезда, дающие возможность наметить пути его снижения.

высокоскоростное движение, обычные скорости, сопротивление движению, составляющие аэродинамического сопротивления.

Введение

Влияние воздушной среды на подвижной состав многопланово. Условно его рассматривают в рамках внешней, внутренней и пограничной аэродинамики.

Обычно поезд характеризуется внешней аэродинамикой. Она определяется скоростью движения поезда, его составностью, степенью аэродинамического совершенства вагонов и локомотивов, условиями движения по трассе, состоянием и величиной внешних и внутренних аэродинамических связей в поезде, а также поезда с обустройствами железной дороги, расположенными вблизи нее.

1 Структурные составляющие воздушного сопротивления

Одна из важных аэродинамических характеристик поезда – сопротивление движению. Оно зависит от вида поезда (пассажирский, грузовой или др.), скорости движения, его длины, разновидностей и типов вагонов, последовательности их расположения в составе, а также от вида груза и состояния загрузки вагонов.

Как известно [1, 2], сопротивление воздуха пропорционально квадрату скорости движения поезда. Так, для пассажирского поезда из 20 вагонов при скорости 100 км/ч сопротивление воздуха составляет около 35%, при

200 км/ч – около 70%, а при 300 км/ч – свыше 90% основного сопротивления движению; то же для грузового поезда из 60 вагонов: 30% при скорости 20 км/ч и 60% уже при скорости 90 км/ч.

Аэродинамическое сопротивление включает в себя:

– *профильное сопротивление*, обусловленное давлением воздуха на лобовую поверхность локомотива и разряжением за хвостовой частью поезда; оно вызвано несовершенством геометрических очертаний (плохой обтекаемостью) подвижного состава;

– *сопротивление трения*, определяемое размерами поверхности трения поезда о воздух, степенью ее шероховатости, а также размерами междувагонных промежутков.

Количественное соотношение между сопротивлениями давления и трения зависит от формы, размеров поперечного сечения, длины поезда и строго индивидуализировано. С увеличением числа вагонов относительная величина сопротивления давления падает, а доля сопротивления трения увеличивается. Например, с увеличением числа вагонов в поезде от одного до двенадцати величина профильного сопротивления уменьшается с 70 до 25%. С увеличением числа вагонов уменьшается также доля хвостового сопротивления в общем аэродинамическом сопротивлении поезда. Так, в поезде, составленном из 12 и более вагонов она уже незначительна (менее 3%), поэтому хорошая обтекаемость последнего вагона в таком случае не обязательна.

Аэродинамическое сопротивление промежуточного вагона в поезде меньше, чем головного или последнего. Сопротивление давления такого вагона мало, доля же сопротивления трения в его общем аэродинамическом сопротивлении относительно велика.

Междувагонные промежутки увеличивают сопротивление давления каждого вагона. При этом, если величина такого промежутка менее 0,3 м, воздушный поток обтекает поезд, практически не замечая его.

Увеличивают воздушное сопротивление вагона открытое подвагонное пространство и ходовые части, на их долю приходится до

50% всего аэродинамического сопротивления.

Существенное влияние на величину аэродинамического сопротивления оказывают различные надстройки на вагонах. Так, при движении со скоростью 200 км/ч дополнительные затраты мощности на преодоление сопротивления от установленных снаружи вагона вентиляционных фильтров, дверных ручек, смотровых мостиков, блоков сопротивления и токоприемников составляет около 90 кВт на вагон. Увеличивает затраты мощности и наличие гофров на поверхности боковых стен и крыши; например, 32 гофра высотой 15 мм увеличивают аэродинамическое сопротивление трения примерно на 23%, что эквивалентно дополнительной затрате мощности 8 кВт на вагон при скорости 200 км/ч.

Влияет на аэродинамическое сопротивление и боковой ветер. Степень этого влияния учитывается расчетным методом – увеличением скорости набегающего воздушного потока на 10–15 км/ч.

Учитывая вышесказанное, стараются максимально снизить аэродинамическое сопротивление от подвижного состава. Это достигается выполнением следующей целевой функции:

$$(\Delta E \Rightarrow \min) \vdash (c_x \equiv \min), \quad (1)$$

где E – энергия тяги поезда; c_x – суммарный коэффициент воздушного сопротивления поезда:

$$c_x = c_x^r + c_{x_1}^x + c_{x_f} + c_x^{мп}, \quad (2)$$

где c_x^r – коэффициент лобового сопротивления головного вагона (локомотива); $c_{x_1}^x$ – коэффициент хвостового сопротивления одиночного вагона; c_{x_f} – коэффициент сопротивления трения вагонов поезда; $c_x^{мп}$ – коэффициент сопротивления междувагонного промежутка, пространства.

Лобовое сопротивление формы определяется коэффициентом c_x^r . Его создают головной вагон и промежуточные вагоны, причем последние испытывают его, если перед ними

есть междувагонное пространство или их мидель превышает размеры расположенных впереди вагонов.

Лобовое сопротивление промежуточных вагонов приводит к тому, что некоторые из них двигаются в спутном следе, т. е. обтекаются воздушным потоком с меньшей скоростью, чем в основном. Это уменьшает их лобовое сопротивление на величину коэффициента ослабления k_1 :

$$k_1 = 0,8 \text{ при } 1 \leq \bar{a}_{\text{ш}} \leq 6;$$

$$k_1 = 0,9 \text{ при } 6 \leq \bar{a}_{\text{ш}} \leq 30;$$

$$k_1 = 1,0 \text{ при } \bar{a}_{\text{ш}} > 30,$$

где $\bar{a}_{\text{ш}} = a_{\text{ш}}/L$; $a_{\text{ш}}$ – размер междувагонного пространства, образованного соседними вагонами с различным миделем; L – длина условного стандартного вагона в данной схеме поезда.

С учетом сказанного общее расчетное значение коэффициента лобового сопротивления поезда составляет:

$$c_x^r = \left[1 + \sum_{n_1=1}^{m/2} \left(k_1 \cdot \frac{S_{\text{п}}}{S_r} \right)_{n_1} \right] c_{x_1}^r, \quad (3)$$

где c_x^r – коэффициент лобового сопротивления головной части одиночного вагона (локомотива); n_1 – число промежуточных вагонов в составе, испытывающих лобовое сопротивление с соответствующим коэффициентом ослабления k_1 ; $S_{\text{п}}$ и S_r – соответственно мидели кузовов промежуточного и головного вагонов.

Влияние хвостовой части на воздушное сопротивление состава уменьшается с увеличением длины состава. Это учитывается следующим коэффициентом ослабления хвостового сопротивления k_2 :

$$k_2 = 1 \text{ при } 1 < \bar{j} < 2;$$

$$k_2 = 0,9 \text{ при } 2 < \bar{j} < 3;$$

$$k_2 = 0,8 \text{ при } 4 < \bar{j} < 8;$$

$$k_2 = 0 \text{ при } \bar{j} \geq 20,$$

где \bar{j} – длина состава из вагонов одинакового миделя, обладающих хвостовым сопротивлением; $\bar{j} = j/L$.

По аналогии с (3) общее расчетное значение коэффициента хвостового сопротивления кузовов вагонов в поезде определяется следующей зависимостью:

$$c_x^x = \left[\sum_{n_2=1}^{m/2} \left(k_2 \cdot \frac{S_{r,\text{п}}}{S_r} \right)_{n_2} \right] c_{x_1}^x, \quad (4)$$

где $c_{x_1}^x$ – коэффициент хвостового сопротивления одиночного вагона; $1 \leq n_2 \leq m/2$ – количество групп вагонов в составе, имеющих хвостовое сопротивление с соответствующим коэффициентом k_2 .

Концевые и промежуточные вагоны создают воздушное сопротивление трения. Оно пропорционально величине «смоченной поверхности» F и зависит от коэффициента трения воздуха о кузов вагона f_r . В тех случаях, когда в поезде имеются широкие междувагонные промежутки или пространства, скорость потока в них уменьшается, уменьшается и сопротивление трения воздуха о горизонтальную поверхность кузова. Это учитывается в расчетных формулах введением коэффициента ослабления сопротивления k_3 :

$$k_3 = 0,8 \text{ при } 0 \leq \bar{h} < 0,3; \bar{h} = H/H_{\text{ср}};$$

$$k_3 = 1,8 \text{ при } \bar{h} > 0,3,$$

где H и $H_{\text{ср}}$ – глубина широких междувагонных промежутков, образованных соседними сцепленными вагонами в поезде.

С учетом вышесказанного, расчетное значение коэффициента воздушного сопротивления трения для такого поезда выражается следующим образом:

$$c_{x_f} = \left\{ \sum_{m=1}^m F_m^{\delta} + [m - n_3 (1 - k_3)] F_m^k \right\} \frac{f_m}{S}, \quad (5)$$

где F_m^{δ} – «смоченная боковая поверхность» вагона; F_m^k – «смоченная поверхность» крыши типового вагона или вагона с максимальным миделем S ; n_3 – количество вагонов, образующих междувагонное пространство с их коэффициентом k_3 .

Междугагонные промежутки создают воздушное сопротивление движению. Оно определяется величиной их «смоченной поверхности» $F^{мп} = P \cdot a$ (где P – длина линии, огибающей поверхность боковых стен и крыши по миделю; a – ширина междугагонного промежутка) и коэффициентом трения воздуха о воздух f_b .

Индивидуализация междугагонных промежутков учитывалась введением коэффициента k_4 :

$$k_4 = \frac{c_x^{мп}}{c_{x_{ст}}^{мп}} = \frac{a}{a_{ст}},$$

где $c_x^{мп}$, a , $c_{x_{ст}}^{мп}$, $a_{ст}$ – соответственно коэффициент сопротивления и определяющий параметр (ширина) рассматриваемого и междугагонных промежутков между крытыми вагонами или между вагонами с максимальным миделем и платформой между ними.

Общее сопротивление от междугагонных промежутков определяется следующим коэффициентом:

$$c_x^{мп} = F_{ст}^{мп} \cdot \frac{f_b}{S} \sum_{n_4=1}^{m-1} (k_4)_{n_4}, \quad (6)$$

где $F_{ст}^{мп}$ – «смоченная поверхность» стандартного междугагонного промежутка; n_4 – количество междугагонных промежутков в поезде.

Таким образом, общая оценка энергетической эффективности сформированной схемы поезда может быть выражена через суммарный коэффициент воздушного сопротивления c_x :

$$c_x = \left[1 + \sum_{n_1=1}^{m/2} \left(k_1 \cdot \frac{S_r}{S_r} \right)_{n_1} \right] c_{x_1}^r + \left[\sum_{n_2=1}^{m/2} \left(k_2 \cdot \frac{S_{r,п}}{S_r} \right)_{n_2} \right] c_{x_1}^x + \left\{ \sum_{m=1}^m F_m^6 + [m - n_3(1 - k_3)] F_m^k \right\} \frac{f_m}{S} + \left(F_{ст}^{мп} \sum_{n_4=1}^{m-1} k_{4n_4} \right) \frac{f_b}{S}. \quad (7)$$

Из сопоставлений вариантов схем поездов, рассчитанных по соотношениям (2 и 7), выбирается тот, который обеспечит выполнение условия (1) с учетом затрат на станционные работы.

Взаимосвязь формы подвижного состава и схемы поезда очень тесная и многогранная; значения воздушного сопротивления, создаваемого поездами с различной схемой расположения вагонов в составе, различаются более чем на 400 % (см. табл.).

2 Влияние эксплуатационных условий на воздушное сопротивление поезда

На аэродинамическое сопротивление влияют загруженность вагонов, характер груза, его аэродинамическая защита, размещение и поведение груза в вагонах при движении, а также состояние конструкции кузовов порожних вагонов [2].

Так, только за счет оптимизации места расположения одного лишь штучного груза воздушное сопротивление поезда можно уменьшить на 8 %, а размещая груз по длине вагона без промежутков, можно снизить воздушное сопротивление до 13 %. Полностью используя высоту кузова открытого вагона при погрузке, удается уменьшить сопротивление поезда до 13 %. Целесообразно осуществлять погрузку «с шапкой», так как она увеличивает воздушное сопротивление вагона только на 0,5 %.

При перевозках на открытом подвижном составе навалочных грузов из-за струйной эрозии мелкие фракции входят в состояние левитации и способствуют уносу части груза из вагона; потери при этом могут достигать 15 %.

Рациональное использование изменяемой геометрии кузовов вагонов открытого типа позволяет в эксплуатационных условиях без сколько-нибудь существенных затрат уменьшить воздушное сопротивление всего поезда на 13 %.

Только решением задач внешней аэродинамики по снижению воздушного сопротивления движению, выбору оптимальной

аэродинамической схемы поезда, созданию условий для минимизации расхода топливо-энергетических ресурсов и разрешению проблемы ресурсосбережения на железнодорожном транспорте проблемы железнодорожной аэродинамики не ограничиваются.

Влияние воздушной среды на поезд приводит в эксплуатации к отказам в работе различных подсистем подвижного состава, влияющим на безопасность движения (ходовых частей, тормозного, энергетического, электрического и другого оборудования, систем охлаждения, вентиляции, сигнализации, связи, телеметрии и т. п.); к возникновению дополнительных, неучтенных при проектировании, нагрузок, влияющих на прочность подвижного состава; утяжелению подвижного состава из-за осадения на нем грязи, снега, льда и т. п.; загрязнению окружающей воздушной среды и внутреннего объема пассажирских и грузовых помещений вагонов.

Заключение

1. Снизить воздушное сопротивление можно за счет создания конструкций вагонов, которые бы создавали наименьшее сопротивление трения. Этого можно достигнуть

за счет уменьшения поверхностей трения вагонов, улучшения качества их изготовления, а также аэродинамического перекрытия междувагонных промежутков.

2. Выбор схемы состава, аэродинамическая защита грузов на открытом подвижном составе, их размещение на вагоне, рациональная загрузка, придание вагонам выгодного состояния и т. д. дают широчайшие возможности для уменьшения влияния воздуха на поезд.

3. При создании подвижного состава XXI века необходимо проведение глубоких научных исследований с обязательным учетом воздействий на него воздушной среды.

Библиографический список

1. **Скоростной** и высокоскоростной железнодорожный транспорт. Сооружения и устройства. Подвижной состав. Организация перевозок (Обобщение отечественного и зарубежного опыта). Т. 2. – СПб. : Информационный центр «Выбор», 2003. – 448 с. : ил.

2. **Аэродинамика** железнодорожного поезда (Принципы конструирования подвижного состава, минимизирующие воздействия воздушной среды на железнодорожный поезд) / Н. А. Чурков. – М. : Желдориздат, 2007. – 332 с.

UDK 321.312.313

K. K. Kim, N. S. Karpova, O. V. Prichodchenko

Petersburg State Transport University

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DESIGN FACTORS ON THE WINDING RELIABILITY OF HEATING ELECTROMECHANICAL TRANSDUCERS

We investigate the influence of the design factors of the capsulated windings of the heating electromechanical transducers such as the slot space factor and the length of the end stator coil on their reliability.

heating electromechanical transducer, winding, reliability, slot space factor, length of the end stator coil, turn and major insulation, temperature, vibration acceleration

Introduction

The investigation of winding failures of traditional electromechanical transducers shows

that the estimation and prediction of their reliability can be based on the quantitative analysis of changing the properties of insulating materials under the action of the complex of