

МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

УДК 629.35

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕЖЗВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТОПЛИВНО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЗВЕННОГО АВТОПОЕЗДА

А. Ф. АНДРЕЙЧИК⁺, С. В. ХАРИТОНЧИК

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», ул. Академическая, 12, 220072 г. Минск, Беларусь.

В работе рассмотрена возможность снижения потребления топлива многозвенным автопоездом путем уменьшения либо полного исключения зазоров между звеньями за счет специальных устройств или конструктивных элементов.

Введение

Совершенствование аэродинамики колесных транспортных средств является важным направлением повышения их технико-экономических показателей и экономии топливно-энергетических ресурсов. Аэродинамические параметры колесных транспортных средств оказывают влияние на безопасность и экологию окружающей среды, поскольку от них зависят управляемость и устойчивость, степень загрязнения движущихся в потоке транспортных средств, а также уровень аэродинамического шума.

Особенно актуальны указанные вопросы для скоростных магистральных автопоездов. В частности, наличие зазора между автомобилем-тягачом и прицепом, необходимого для обеспечения безопасного маневрирования, изменяет картину общего аэродинамического обтекания и ухудшает аэродинамические характеристики автопоезда. Вопросы оценки аэродинамических потерь в зазоре уже рассматривались ранее специа-

листами [1, 2].

Наличие зазора между звеньями автопоезда увеличивает количество вихреобразований при его обтекании. В работе [2] показано, что в пространстве между кабиной и кузовом головного звена вихреобразование практически отсутствует, а вихревая зона организуется внизу между кабиной и кузовом головного звена (рис. 1). В зазоре между головным и прицепным звеньями, как и за кормой автопоезда, существует значительный по размеру вихрь.

Постановка задачи исследования

Проведение расчетной оценки влияния межзвенного пространства на аэродинамические и топливно-экономические характеристики является весьма актуальным вопросом в связи с ходом работ по созданию многозвенных автопоездов скоростных перевозок больших объемов грузов на дальние и сверхдальние расстояния по междугородним, международным и трансконтиненталь-

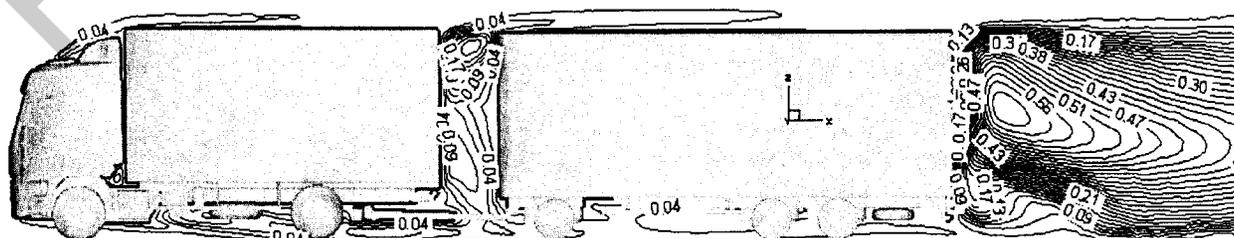


Рис. 1. Распределение турбулентной вязкости потока воздуха в вертикальной срединной плоскости при движении автопоезда

⁺ Автор, с которым следует вести переписку.

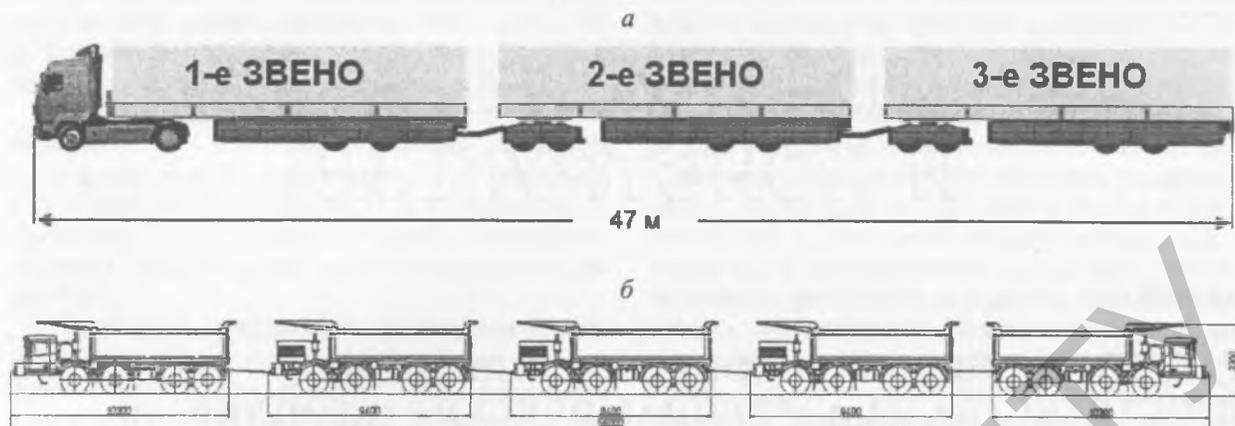


Рис. 2. Многозвенные автопоезда: а – магистральный; б – самосвальный для горных работ

ным трассам [3], а также работ по созданию многозвенных автопоездов (МАП) для транспортировки руды от удаленных месторождений [4]. Данные транспортные средства содержат как минимум два зазора между звеньями (рис. 2).

Методика расчета

Аэродинамические потери складываются в основном из сопротивления давления и сопротивления трения находящегося в зазоре между ними уплотненного и завихренного воздуха с основным, обтекающим автопоезд, воздушным потоком. В соответствии с методикой [1] величину коэффициента C_{X_3} автопоезда, характеризующую аэродинамическое сопротивление в зазоре между звеньями автопоезда, можно представить в следующем виде:

$$C_{X_3} = C_{X_3}^D + C_{X_3}^{BB},$$

где $C_{X_3}^D$, $C_{X_3}^{BB}$ – доли коэффициента C_{X_3} , определяющие величину сопротивления давления и сопротивления трения воздуха о воздух.

Доля потерь за счет перетекания потока за пределы зазора невелика, поэтому ими пренебрегают.

Для расчета величины сопротивления давления в одном зазоре между звеньями автопоезда, можно предложить формулу [1]:

$$C_{X_3}^D = C_p (F_{\sigma 1}^1 + F_{\sigma 1}^2) / F_a,$$

где $F_{\sigma 1}^1$ и $F_{\sigma 1}^2$ – площади задней торцевой стенки 1-го звена и передней торцевой стенки 2-го звена; F_a – лобовая площадь автопоезда.

Сопротивление давления в одном зазоре между звеньями взаимосвязано с его величиной [1]:

$$C_{X_3}^D = 4,2 \cdot 10^{-2} [1,358 + \arctg 45,7(L_3 / L_a - 0,1)],$$

где L_3 – величина зазора между звеньями; L_a – длина автопоезда.

Для расчетного определения второй состав-

ляющей аэродинамических потерь в зазоре между звеньями можно принять, что потери на трение в функции зазора изменяются по линейному закону, а величина коэффициента сопротивления трения воздуха о воздух выбрана равной $C_f^{BB} = 0,023$. Расчетная зависимость для получения доли аэродинамических потерь в одном зазоре между звеньями автопоезда от трения воздуха о воздух имеет вид:

$$C_{X_3}^{BB} = 0,023(B_{кз} + 2H_{кз})L_3 / F_a,$$

где $B_{кз}$, $H_{кз}$ – ширина и высота кузова, соответственно.

Суммируя аэродинамические потери от давления на стенках кузова автопоезда и трения воздуха о воздух, рассчитывается общий коэффициент аэродинамического сопротивления в зазоре автопоезда:

$$C_{X_3} = 2,3 \cdot 10^{-2} \{1,826 [1,358 + \arctg 45,7(L_3 / L_a - 0,1)] + (B_{кз} + 2H_{кз})L_3 / F_a\}.$$

Рассмотренная методика [1] удобна для практического использования в инженерных расчетах. Однако применительно к МАП она требует уточнения в части количества используемых в составе автопоезда звеньев, поскольку изменяются физические параметры воздушного потока, протекающего во втором, третьем и последующих зазорах между звеньями. В этом случае итоговое выражение имеет вид:

$$C_{X_{МАП}} = C_{X_{31}} + C_{X_{32}} + \dots + C_{X_{3(n-1)}},$$

где n – количество звеньев автопоезда; $C_{X_{31}}$, $C_{X_{32}}$, $C_{X_{3(n-1)}}$ – доля аэродинамических потерь в 1-ом, 2-ом и $(n-1)$ -ом зазорах.

Возмущенный в зазоре поток воздействует на обтекание следующей за ним части автопоезда. Поэтому каждый последующий зазор будет воздействовать только на идущие за ним звенья, таким образом, долю аэродинамических потерь в i -ом зазоре можно представить в следующем виде:

$$C_{x_{zi}} = 2,3 \cdot 10^{-2} \{1,826 [1,358 + \arctg 45,7(L_{zi} / L_{in} - 0,1)] + (B_{кз} + 2H_{кз})L_{zi} / F_a\},$$

где L_{zi} – длина i -го зазора; L_{in} – длина автопоезда от i -го до n -го звена.

$$C_{x_{МАП}} = \sum_{i=1}^{n-1} 2,3 \cdot 10^{-2} \{1,826 [1,358 + \arctg 45,7(L_{zi} / L_{in} - 0,1)] + (B_{кз} + 2H_{кз})L_{zi} / F_a\},$$

где n – количество звеньев автопоезда.

Оценка результатов и их обсуждение

Проведем расчетную оценку влияния параметров межзвенного пространства на аэродинамические и топливно-экономические характеристики МАП в составе трех звеньев со следующими массогеометрическими параметрами: длина головного звена – 16,5 м; 2-го и 3-го звеньев – 15,1 м; полная масса головного звена – 35025 кг; 2-го и 3-го звеньев – 31850 кг.

Зависимость $C_{x_3} = f(L_3)$, изображенная на рис. 3, показывает, что с увеличением размера зазора L_3 между звеньями автопоезда увеличивается дополнительное сопротивление, а соответственно величина общего коэффициента аэродинамического сопротивления автопоезда. Силу дополни-

тельного сопротивления, создаваемого зазором между звеньями, можно рассчитать по общепринятой формуле:

$$P_x = (C_{x_3} \rho / 2) F_a V^2,$$

где $\rho = 1,25 \text{ Нс}^2/\text{м}^4$ – массовая плотность воздуха; V – скорость натекания воздушного потока.

Используя значение силы сопротивления качению и силы сопротивления воздуха, находим мощность N_e , требуемую для преодоления суммарного сопротивления движению F_{Σ} , приведенную к коленчатому валу двигателя:

$$N_e = F_{\Sigma} V / \eta,$$

где V – скорость движения автомобиля; η – коэффициент полезного действия трансмиссии.

По имеющимся расчетным значениям мощности, требуемой для преодоления суммарного сопротивления движению, и значениям аэродинамических потерь в зазоре построим график топливной экономичности (рис. 4). Основным измерителем топливной экономичности автомобиля в странах СНГ и большинстве европейских стран является расход топлива, выраженный в литрах на 100 км пройденного пути – так называемый путевой расход топлива Q_s . Для расчета путевого расхода топлива Q_s принимаем следующую формулу [5]:

$$Q_s = 100 g_e N_e / \rho_T V,$$

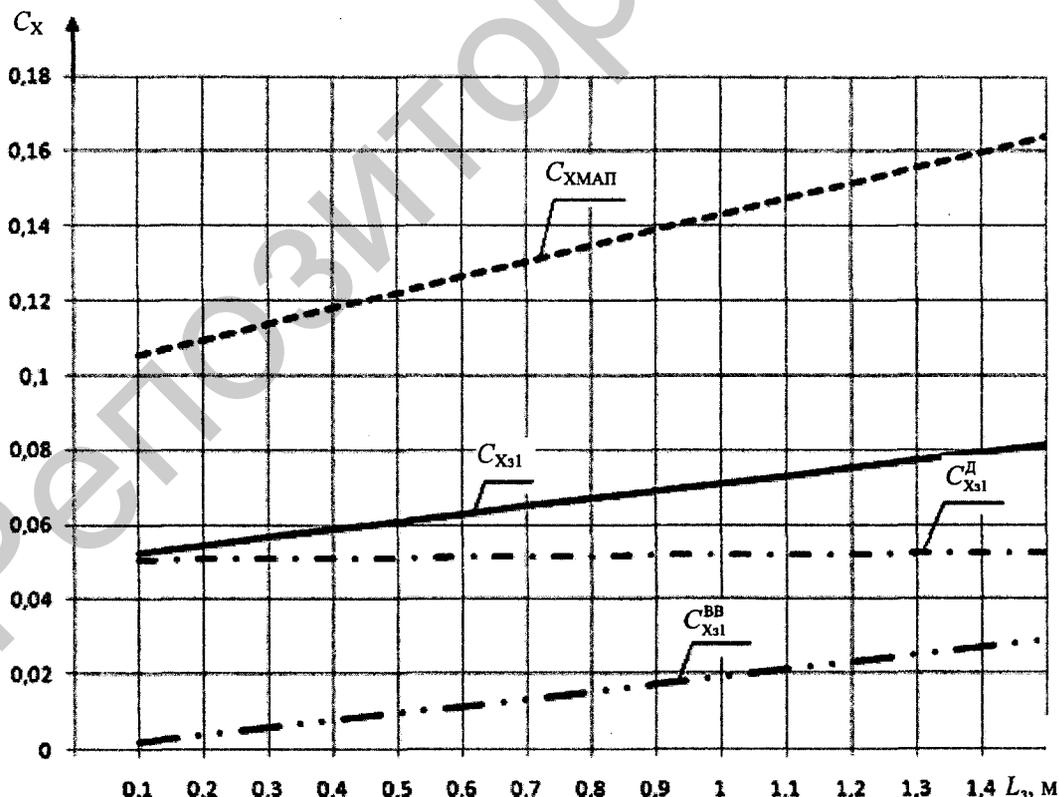


Рис. 3. Зависимость коэффициента аэродинамических потерь в зазоре между звеньями МАП C_{x_3} от величины зазора: $C_{x_{31}}^{ВВ}$ – доля аэродинамических потерь в первом зазоре между звеньями МАП от трения воздуха о воздух; $C_{x_{31}}^Д$ – сопротивление давления в первом зазоре между звеньями; $C_{x_{31}}$ – доля аэродинамических потерь в 1-ом зазоре между звеньями; $C_{x_{МАП}}$ – суммарная доля аэродинамических потерь в 2-х зазорах между звеньями

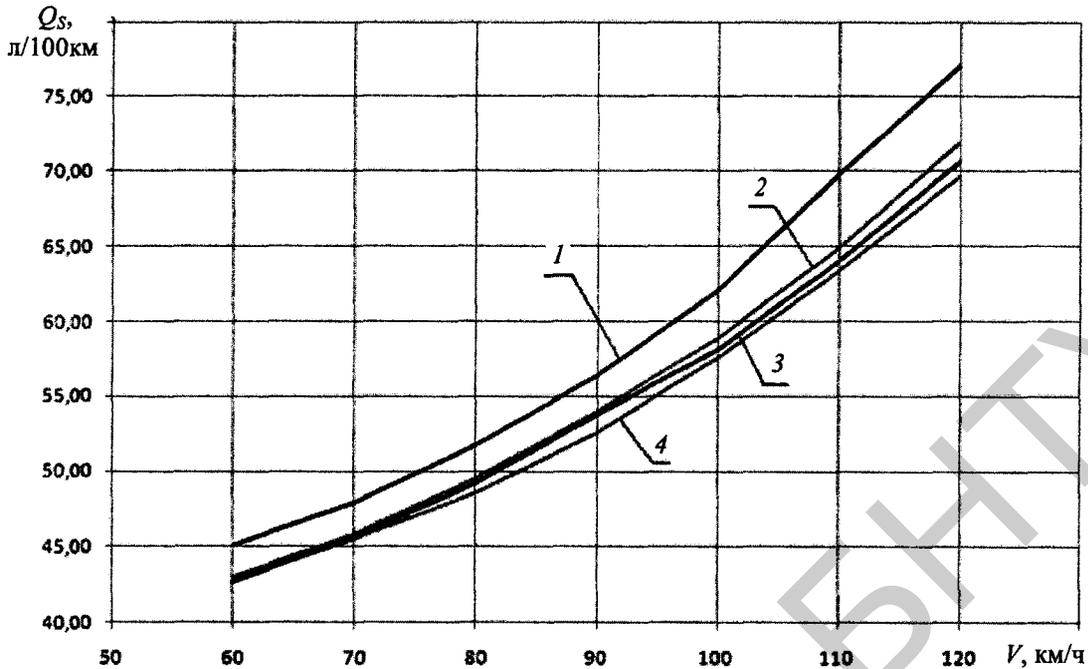


Рис. 4. Топливная характеристика установившегося движения на высшей передаче МАП: 1 – путевой расход топлива МАП при наличии 2-х зазоров в 1,5 м между звеньями; 2 – путевой расход топлива МАП при наличии 2-х зазоров в 1 м; 3 – путевой расход топлива МАП при наличии 2-х зазоров в 0,5 м; 4 – путевой расход МАП с установленными обтекателями, исключающими зазоры между звеньями

где g_e – удельный расход топлива, определяемый по многопараметровой характеристике двигателя при установившемся движении; $\rho_T = 820 \text{ кг/м}^3$ – плотность топлива.

Как видно, топливные потери многозвенного автопоезда при наличии зазора между звеньями с увеличением скорости растут. При скорости многозвенного автопоезда 90 км/ч топливные потери составляют до 3,8 л/100 км. Если транспортное средство будет двигаться со скоростью 120 км/ч, то топливные потери составят до 7,44 л/100 км.

Анализ полученных результатов показал, что при наличии работающих в сцепке кузовов с низкими аэродинамическими характеристиками создается дополнительное аэродинамическое сопротивление из-за наличия зазора между ними. В случае многозвенного автопоезда, где количество зазоров может быть равно 2, 3 и более, с ростом количества звеньев аэродинамическое сопротивление автопоезда будет увеличиваться, что ведет к повышению расхода топлива. Для снижения потребления топлива целесообразно уменьшение зазоров между звеньями автопоезда (либо их исключение) за счет специальных устройств или конструктивных элементов. Как показывает рис. 4, эффективная, с точки зрения сокращения аэродинамических потерь, величина зазора между звеньями может быть принята из диапазона 0,5...1,0 м. Такое значение является приемлемым и с компоновочных соображений, поскольку обеспечивается непересекаемость элементов звеньев при движении автопоезда.

Выводы

Поиск конструктивных решений для уменьшения аэродинамических потерь актуален применительно к существующим автопоездам прицепного типа. Использование обтекателей, позволяющих закрыть пространство между звеньями автопоезда, или наличие регулируемой сцепки, позволяющей уменьшить величину зазора, дает возможность значительно сократить потребление топлива, тем самым увеличить экономичность, повысить уровень экологических характеристик и безопасности, снизить уровень загрязняемости кузовов и уровень внешнего и внутреннего шума.

Таким образом, уточнение выражений для проведения расчетной оценки влияния межзвенного пространства на аэродинамические характеристики позволяет найти пути для совершенствования конструктивных решений, направленных в конечном итоге на повышение топливно-экономических характеристик многозвенных автопоездов.

Обозначения

C_{X_3} – коэффициент, характеризующий аэродинамическое сопротивление в зазоре между звеньями автопоезда; $C_{X_3}^D$ – доля коэффициента C_{X_3} , определяющая величину сопротивления давления; $C_{X_3}^{BB}$ – доля коэффициента C_{X_3} , определяющая величину сопротивления трения воздуха о воздух; C_P – средний коэффициент давлений; $F_{ст}^1$ – площадь задней торцевой стенки 1-го, м²;

$F_{\text{ст}}^2$ – площадь передней торцевой стенки 2-го звена, м²; $F_{\text{а}}$ – лобовая площадь автопоезда, м²; L_3 – величина зазора между звеньями, м; $L_{\text{а}}$ – длина автопоезда, м; $C_f^{\text{вв}}$ – коэффициент сопротивления трения воздуха о воздух; $B_{\text{кз}}$ – ширина кузова, м; $H_{\text{кз}}$ – высота кузова, м; $C_{\text{ХМАП}}$ – коэффициент, учитывающий аэродинамические потери во всех зазорах МАП; $C_{\text{Хз1}}$ – доля аэродинамических потерь в 1-ом зазоре; $C_{\text{Хз2}}$ – доля аэродинамических потерь в 2-ом зазоре; $C_{\text{Хз}n-1}$ – доля аэродинамических потерь в $(n-1)$ -ом зазоре; $C_{\text{Хзи}}$ – доля аэродинамических потерь в i -ом зазоре; n – количество звеньев МАП; $L_{\text{зи}}$ – величина i -го зазора между звеньями, м; $L_{\text{ин}}$ – длина автопоезда от i -го до n -го звена, м; ρ – массовая плотность воздуха, кг/м³; V – скорость натекания воздушного потока, м/с; $P_{\text{ш}}$ – сила аэродинамического сопротивления МАП, Н; F_{Σ} – сила суммарного сопротивления движению, Н; $N_{\text{е}}$ – мощность, требуемая для преодоления суммарного сопротивления движению, кВт; Q_S – путевой расход топлива, л/100 км;

$g_{\text{е}}$ – удельный расход топлива, г/кВтч; $\rho_{\text{т}}$ – плотность топлива, кг/м³.

Литература

1. Евграфов, А.Н. Аэродинамика колесного транспорта / А.Н. Евграфов, М.С. Высоцкий. – Минск: НИРУП «Белавтотракторостроение», 2001. – 368 с.
2. Моделирование аэродинамики магистрального автопоезда / В.А. Бабенко, Т.А. Баранова, Ю.В. Жукова, А.Д. Черный, С.В. Харитончик // Механика машин, механизмов и материалов. – 2010. – № 2. – С. 72–75.
3. Высоцкий, М.С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М.С. Высоцкий, С.И. Кочетов, С.В. Харитончик. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 392 с.
4. Перспективы разработки многозвенных автопоездов для горных работ / И.В. Гайсенко, А.А. Дюжев, С.И. Кочетов, П.Л. Мариев, П.И. Тарасов, С.В. Харитончик // Проблемы карьерного транспорта: сб. науч. тр. XII Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 1–4 окт. 2013 г. / УрО РАН; редкол.: В.Л. Яковлев [и др.]. – Екатеринбург, 2013. – С. 19–27.
5. Руктешель, О.С. Тяговая динамика и топливная экономичность автомобиля с механической трансмиссией: учебно-методическое пособие / О.С. Руктешель [и др.]. – Мн.: БНТУ, 2000.

Andreichik A. F. and Kharitonchik S. V.

The estimated impact assessment of the trailer-trailer gap on the aerodynamics and fuel efficiency of the multilink train.

The paper discusses the possibility of fuel consumption reduction of the multilink train by reducing or complete elimination of trailer-trailer gaps by means of special devices or components.

Поступила в редакцию 09.04.2014.

© А. Ф. Андрейчик, С. В. Харитончик, 2014.