

Кравец Т.В., Кравец В.В.

О ПОКАЗАТЕЛЯХ ЭФФЕКТИВНОСТИ СКОРОСТНОГО ТРАНСПОРТА

Предложен показатель эффективности скоростного наземного транспорта, основанный на классической мере механического движения. Установлены аналитические зависимости связывающие введенный и некоторый известный показатель. Проведен анализ комплекса проблем, возникающих при эксплуатации колесных транспортных экипажей в диапазоне скоростей 150-600 км/ч. Обосновывается концепция комбинированного скоростного наземного транспорта, объединяющего преимущества автомобиля и экраноплана.

В настоящее время диапазон скоростей 150 – 600 км/ч, связующий наземный и воздушный транспорт, недостаточно освоен [12]. Ведущие страны мира активно проводят научно-технические работы по созданию новых видов транспортных средств, которые по своим технико-экономическим и эксплуатационным характеристикам заполнили бы указанный интервал скоростей [3]. Одним из перспективных направлений создания высокоскоростного наземного транспорта является использование известного в авиации так называемого «экранного эффекта» [2]. Приоритет в области экранопланостроения принадлежит Центральному конструкторскому бюро по судам на подводных крыльях имени Р. Алексеева, где были заложены научно-методические основы проектирования экранопланов. Над решением проблем аэродинамики, прочности, безопасности и эксплуатационной надежности экранопланов работали ученые отраслевых судостроительных и авиационных НИИ, в том числе ЦНИИ им. А.Н.Крылова, ЦАГИ, ЛИИ. Были созданы образцы экранопланов не имеющие аналогов в мире: «Стриж», «Волга-2», «Орленок», «Лунь». Проекты экранопланов разрабатывались такими фирмами как Vehicle Research Corp., General Dynamic, Kawasaki, Lockheed. Известны проекты экранопланов «Columbia», «Aerofoilboat» X-112, X-113, X-114. Актуальные проблемы высокоскоростного наземного транспорта находятся в центре внимания авторитетных международных научно-практических конференций. К фундаментальному аспекту этих проблем относится поиск универсальных критериев или показателей эффективности скоростного транспорта [4, 9].

Представляется целесообразным для оценки эффективности скоростного наземного транспорта исходить из классической меры механического движения, т.е. количества движения, предложенного Р. Декартом и кинетической энергии, введенной Г. Лейбницем как «живая сила» и Г. Гельмгольцем [11]. Известно также, что повышение скорости движения является объективной тенденцией для существующих наземных средств

транспортировки грузов и пассажиров [12]. Интегральным, усредненным по маршруту показателем эффективности транспортного средства может служить количество энергии или её стоимостное выражение, затрачиваемое на единицу массы общей или полезной нагрузки при перемещении её на единицу длины пути по заданному маршруту в пространстве реальных внешних возмущений и воздействий за промежуток времени пребывания в пути, т.е.

$$E_Q = \frac{P \tau}{M L},$$

где P – расход энергии (топлива) на заданном маршруте (разность объемов заправленного топлива и остатка);

M – средняя масса транспортного средства, включая полезную (масса перевозимого груза, багажа, пассажиров) и пассивную нагрузку (масса конструкции транспортного средства, масса топлива);

L – путь пройденный транспортным средством по заданному маршруту;

τ – время движения транспортного средства по заданному маршруту, исключая остановки.

Очевидно, что $\frac{L}{\tau} = V$ – средняя скорость транспортного средства на данном маршруте.

Тогда

$$E_Q = \frac{P}{M V},$$

где $M V = Q$ – усредненное на заданном маршруте количество движения рассматриваемого транспортного средства, т.е.

$$E_Q = \frac{P}{Q}.$$

Известно, что широко используемый в настоящее время упрощенный показатель эффективности транспортного средства определяется по формуле:

$$E_L = \frac{P}{L}$$

и характеризует расход энергии (топлива) на единицу длины пути, т.е. связь введенного показателя эффективности и известного имеет вид:

$$E_Q = \frac{\tau}{M} E_L.$$

Отметим, что рассмотренные показатели эффективности транспортного средства являются размерными величинами.

Представляется целесообразным ввести безразмерный, инвариантный показатель связывающий $T = \frac{M V^2}{2}$ – усредненную по маршруту кинетическую энергию транспортного средства и P_E – расходуемую химическую, электрическую или иной вид энергии, выраженные одной размерностью, т.е.

$$E_T = \frac{P_E}{T}.$$

Откуда нетрудно установить связь с рассмотренными ранее показателями E_Q и E_L :

$$E_T = 2 \frac{\tau}{L} E_Q, \quad E_T = 2 \frac{\tau^2}{M L} E_L.$$

Таким образом, сравнительная оценка эффективности транспортных средств сводится к отысканию минимума значений введенных показателей E_L , E_Q , E_T . Отметим, что известный показатель эффективности E_L отличается простотой, а предлагаемый показатель E_T – корректностью оценки.

В технике различных транспортных средств получил также применение иной показатель эффективности – коэффициент ходового качества [6]:

$$K = \frac{G}{X},$$

где $G = g M$ – вес транспортного средства;

g – ускорение свободного падения;

$X = c_x q S$ – сила сопротивления;

c_x – коэффициент сопротивления;

$q = \frac{\rho V^2}{2}$ – скоростной напор;

ρ – плотность атмосферы;

S – площадь миделя.

Смысл коэффициента ходового качества заключается в оценке величины переносимого полного веса транспортного средства к величине потерь, связанных с диссипацией энергии в процессе скоростного движения, т.е. этот коэффициент является аналогом известного коэффициента аэродинамического качества для летательных аппаратов [8].

$$K_Y = \frac{Y}{X},$$

где Y – подъемная сила.

Связь коэффициента ходового качества с введенным ранее энергетическим показателем имеет вид:

$$E_T = \frac{\rho}{g} \frac{P_E}{M^2} c_x K \quad \text{или} \quad E_T = 4 \frac{g}{\rho} \frac{P_E}{V^4} \frac{1}{c_x K}.$$

Известно, что при увеличении скорости движения колесных транспортных средств свыше 150 км/ч возникают и начинают интенсивно проявляться в совокупности комплекс физических процессов, негативно влияющих на комфортность и безопасность перемещения [4]. Эти процессы приводят к возникновению и необходимости решения ряда экологических, экономических и технических проблем, к числу которых относятся:

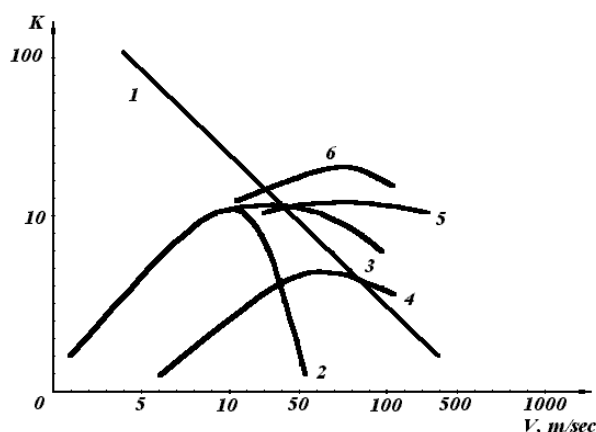
- значительные капиталовложения на отчуждение территорий, строительство и эксплуатацию специального дорожного покрытия;
- загрязнений окружающей среды продуктами сгорания топлива;
- акустические воздействия, вызванные работой двигателя, трансмиссии и систем подвешивания, турбулентностью обтекающего потока;
- преодоление сил сопротивления, главным образом аэродинамического;
- гладкость опорной поверхности, локальные неровности, кривизна пути в плане и профиле, малый клиренс;
- «вибрационный барьер», возникающий в связи с колебаниями, вызванными неровностями опорной поверхности;
- «тяговый барьер», обусловленный снижением сцепления колеса с опорной поверхностью и др.

Следует принять также во внимание, что непосредственно на водителя и пассажира воздействует множество возмущающих факторов подлежащих учету, регистрации, оценке и сертификации по соответствующим критериям и показателям. Основными из этих факторов являются динамические нагрузки (перегрузки) [5], вибрация, акустические колебания в широком диапазоне частот, в том числе шум, а также загазованность, запыленность, освещенность, температура и т.п. Каждый из этих факторов охватывает широкий спектр проблем. В частности, динамические нагрузки, воздействующие на силовую конструкцию или перегрузки, воздействующие на человека, обусловлены силами инерции (центробежными, гироскопическими, кориолисовыми, тангенциальными) [7] при скоростном управляемом движении по пространственной траектории, определяемой опорной поверхностью и характеризуемой кривизной в плане и профиле, локальными неровностями, а также иными случайными факторами. Как показано в работе [10] динамические нагрузки (перегрузки), воздействующие на скоростной наземный транспорт в трехмерном пространстве эффективно регистрируются с помощью инерциальных

измерительных систем [1] широко используемых в ракетно-космической технике и могут быть сопоставлены с допустимым уровнем.

В качестве иллюстрации проведем анализ широкого спектра транспортных средств, на основе показателя эффективности в виде коэффициента ходового качества.

В работе [6] проведены систематические исследования по определению величины коэффициента ходового качества различных транспортных средств в эксплуатационном диапазоне изменения скоростей. Результаты этих исследований представлены на рисунке в виде зависимости коэффициента ходового качества от скорости движения транспортного средства :



Как видно из рисунка коэффициент ходового качества колесных транспортных средств (автомобильного, железнодорожного) с увеличением скорости движения монотонно снижается и при скорости 50 м/с не превышает 10 (кривая 1). Максимальное значение ходового качества вертолета составляет 7 при скорости перемещения около 70 м/с (кривая 4), судов на подводных крыльях – составляет 10 при скорости движения 12 м/с (кривая 2), судов на воздушной подушке – 12 при скорости от 40 до 60 м/с (кривая 3), самолета – 15 при скорости от 50 до 500 м/с (кривая 5), экраноплана – 40 при скорости 80 м/с (350 км/ч, кривая 6). Следует отметить важную особенность приведенных зависимостей: существует критическая точка, где ходовое качество колесного экипажа и экраноплана совпадают. Этой точке соответствует скорость движения 120 км/ч-150 км/ч и значение коэффициента ходового качества равно 20. Откуда следует вывод: представляется целесообразным проведение углубленных исследований по разработке, проектированию и испытанию комбинированного транспортного средства, объединяющего в себе элементы наземного (например, автомобильного) транспорта и экраноплана. Такая комбинированная транспортная система может обеспечить стабильное и высокое значение ходового качества (20–40) не достигнутое ни одним известными транспортными средствами в диапазоне скоростей 150–600 км/ч [14]. Создание предлагаемой комбинированной системы

наземного транспорта полностью или частично устраняет упомянутые ранее технические проблемы связанные с высокой скоростью движения, а именно: «вибрационный барьер», «тяговый барьер», повышенные требования к дорожному покрытию, в частности, случайные локальные неровности пути и соответствующие капиталовложения. Опорная поверхность для такого вида комбинированного транспорта при высоких скоростях движения представляет собой сочетание обычного дорожного покрытия, травяного покрова или водной поверхности. Отметим также, что на скоростных участках пути необходимость в возведении мостов или других дорогостоящих сооружений через водные преграды не возникает в силу действующего экранного эффекта. Однако при этом неизбежно проявление иных технических проблем, решение которых возможно на качественно новом технологическом уровне. К числу таких проблем можно отнести: выбор оптимальной аэродинамической формы несущего корпуса, обеспечивающего наибольший экраный эффект и наименьшее аэродинамическое сопротивление; обеспечение устойчивости и управляемости околоэкранного движения; выбор двигателя, эффективного в эксплуатационном диапазоне скоростей 600–1500 км/ч; выбор эффективного источника энергии и соответствующего двигателя, а также вопросы организации, безопасности движения, экологической безопасности, обусловленной акустическим воздействием и воздействием продуктов сгорания двигателя, минимизации пассивной массы, обеспечения прочности конструкции и т.д.

Таким образом, поиск универсальных показателей эффективности (целевых функций) транспортных систем открывает возможность постановки и решения оптимизационных задач структурного и параметрического синтеза новых видов транспорта, предоставляет аналитический инструмент в принятии обоснованных решений в процессе проектирования и конструирования, обеспечивая в целом управляемую эволюцию систем транспорта [13].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анучин О.Н., Емельянцев Г.И.* и др. О возможности использования инерциальных технологий для оперативного контроля качества железнодорожного пути // Гироскопия и навигация, № 3 (10), 1995, С. 47–51.
2. *Дегтярев Г.Л., Закиров И.М., Моисеев А.Н., Фирсов В.А.* Основные направления и результаты исследований по мехвузовской научно-технической программе «Экраноплан», Изв. вузов // Авиационная техника. – 1995. – № 2. – С. 3 – 5.
3. *Кершенбаум В.Я., Фальк В.Э.* Горизонты транспортной техники. – М.: Транспорт, 1988. – 255с.

4. Кірна Г.М., Дьомін Ю.В. Пасажирським перевезенням – швидкість і комфорт // Залізничний транспорт України. – 2002. №1. – С. 2 – 6.
5. Кравец В.В. Об оценке динамического нагружения конструкции при скоростном движении вагона // Прикладная механика. –2005.–Т.41.–С. 119–126.
6. Кравец В.В. Введение в курс конструкций экранопланов: учебное пособие. – Днепропетровск, изд. ДГУ, 1992 – 140с.
7. Кравец В.В., Кравец Т.В. Об оценке центробежных, кориолисовых и гироскопических сил при скоростном движении железнодорожного экипажа // Прикладная механика. – 2008. – Том 44. – № 1. – С. 123-132.
8. Краснов Н.Ф., Кошевой В.Н. Управление и стабилизация в аэродинамике. – М.: Высш. школа, 1978. – 480 с.
9. Малярчук В.С. и др. Техничко-економічна проблема використання нових технічних засобів транспорту. – М.: Наука, 1983.-288с.
10. Мямлин С.В., Кравец В.В. Каскадний алгоритм визначення динамічної навантажувальності елементів конструкції швидкісного вагона // Залізничний транспорт України.–2004.–№4.–С.47–50.
11. Павловський М.А. Теоретична механіка. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.
12. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. СПб.: Информационный центр «Выбор», Т. 1, 2001. – 320 с; Т. 2, 2003. – 448 с.
13. Хубка В. Теория технических систем: Пер. с нем. – М.: Мир, 1987. – 208 с
14. Kravets V., Raspopov O. Concept of combined environmentally clean surface transport // Збірник праць Третьої східноєвропейської конференції з вітрової техніки 3rd EECWE'2002. Київ: Інститут гідромеханіки НАН України. 2002.–С.14–16.