

УДК 533.682

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ МАСШТАБИРОВАННЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРУБ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЮНИНГЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Мустафаев И.С., Чубенко Е.Ф.

ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток,
e-mail: elena.chubenko@inbox.ru

Настоящая статья посвящена решению практической задачи построения масштабированной аэродинамической трубы в условиях испытательной лаборатории для проведения экспериментов по определению компонент полного воздушного сопротивления моделей автомобилей с различными конструкциями навесного оборудования, изготовленного методами 3D моделирования. Рассмотрено общее устройство аэродинамических труб и описана конструкция построенной испытательной установки. Приведено описание современных научных подходов для определения аэродинамических характеристик кузовов легковых автомобилей. Показаны отличия, установлены достоинства и недостатки натурных дорожных экспериментов по сравнению с трубными. Представлены описания результатов экспериментов по определению компонент полного воздушного сопротивления масштабированных моделей легковых автомобилей в построенной аэродинамической трубе. Получена статистическая база результатов экспериментов для решения технических задач об увеличении скорости автомобиля, улучшении управляемости, уменьшении воздушного сопротивления, улучшении экономических и экологических характеристик. Установлена возможность разработки новых способов определения составляющих аэродинамического сопротивления масштабных моделей легковых и грузовых автомобилей и определения компонент воздушных сопротивлений при изменении геометрических характеристик моделей – профильного, индуктивного и донного. Обосновано решение задачи именно об экономии топлива и экологичности транспортных средств. Представлены описания результатов экспериментов по определению компонент полного воздушного сопротивления масштабированных моделей легковых автомобилей в построенной аэродинамической трубе. Приведены основные показатели инновационного потенциала построенной трубы и перспективы ее применения в учебном процессе и научных исследованиях.

Ключевые слова: воздух, поток, критерии, подобие, натура, масштаб, аэродинамика, труба, тип, параметры, испытание, сходимость, условие, устройство

SOME ISSUES OF THE CONSTRUCTION OF SCALE AERODYNAMIC PIPES AND THE PROSPECTS OF THEIR APPLICATION IN TUNING OF VEHICLES

Mustafaev I.S., Chubenko E.F.

Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, e-mail: elena.chubenko@inbox.ru

The present article is devoted to solving the practical problem of constructing a scaled wind tunnel in the conditions of a testing laboratory for conducting experiments to determine the components of the total air resistance of car models with various designs of attachments manufactured using 3D modeling methods. The general arrangement of wind tunnels is considered and the design of the constructed test installation is described. The description of modern scientific approaches for definition of aerodynamic characteristics of bodies of cars is given. Differences are shown, advantages and disadvantages of full-scale road experiments are established in comparison with pipe ones. The descriptions of the results of experiments to determine the components of the total air resistance of scaled models of cars in a constructed wind tunnel are presented. The statistical database of experimental results for solving technical problems on increasing the speed of a car, improving controllability, reducing air resistance, improving economic and ecological characteristics is obtained. The possibility of developing new methods for determining the components of aerodynamic drag of scale models of cars and trucks and determining the components of air resistance when the geometric characteristics of the models – profile, inductive and bottom – are established. The solution of the problem is precisely the fuel economy and ecological compatibility of vehicles. Describes results of experiments to determine the component of the full air drag of scale models of cars built in the wind tunnel.

Keywords: air, flow, criteria, similarity, nature, scale, aerodynamics, pipe, type, parameters, test, convergence, condition, device

Улучшение аэродинамических показателей современных автомобилей является достаточно сложной инженерной задачей. Конструкции и формы легковых автомобильных кузовов ведущих производителей в настоящее время из плохо обтекаемых тел превратились в почти идеальные, что существенно изменило их эксплуатационные свойства, в частности – управляемость,

максимальную скорость, мощность, динамичность, устойчивость, комфортабельность. Но изучение аэродинамического сопротивления автомобиля не потеряло своей актуальности, так как после массы автомобиля оно является вторым по значимости фактором, влияющим на расход топлива. Установлено, что снижение величины суммарных аэродинамических сопротивлений

на 10% приводит к уменьшению расхода топлива на 5% [1, с. 244].

Уменьшение расхода топлива, кроме чисто экономической проблемы, является важной экологической задачей, которая приобретает все большую актуальность с улучшением качества жизни населения и, как следствие, с увеличением количества автомобильного транспорта.

В настоящее время крупные производители автомобилей для достижения целей применяют дорогостоящие аэродинамические комплексы, включающие, кроме полномасштабной трубы, аэроклиматическую и масштабированную. Применение масштабированной аэродинамической трубы на ранней стадии проектирования автомобиля обходится в сотни раз дешевле полномасштабного или натурального эксперимента. Испытания масштабированных моделей автомобилей менее трудоемки и существенно менее дорогостоящи, причем показывают высокую степень сходимости результатов экспериментов с расчетными методами [2, с. 118].

Развитие собственно расчетных методов определения аэродинамических характеристик автомобилей как в нашей стране, так и за рубежом направлено в основном на решение узких производственных задач, общая теория аэродинамики автомобиля не разработана до настоящего времени. Поэтому применение масштабированных аэродинамических труб для получения экспериментальных данных по изучению поведения автомобиля в скоростном воздушном потоке как с целью получения оптимальных форм проектируемых автомобилей, так и для решения задач тюнинга по улучшению динамических и эксплуатационных характеристик существующих транспортных средств является актуальным.

Сопоставимость натуральных результатов и экспериментов в аэродинамической трубе, а также расчетных методов является сложной научной задачей при отсутствии аэродинамической теории для автомобилей. Установление критериев подобия при переносе результатов эксперимента в аэродинамической трубе на дорожные условия предполагает динамическое и кинематическое подобие. Возможно выделить и технически обеспечить в эксперименте динамическое подобие масс и сил, геометрическое подобие модели и натурального объекта. Кинематическое подобие постоянства отношений скоростей и ускорений воздушных потоков в трубном модельном эксперименте подобия технически невозможно [3, с. 69].

Установлено, что значимым критерием для проведения эксперимента в масштабированной аэродинамической трубе является число Рейнольдса.

Для разработанной конструкции трубы определяющим является установление зоны автомодельности с учетом размеров модели путем изменения скорости потока, где величина коэффициента лобового сопротивления воздуха остается постоянной с изменением числа Re .

Научно значимым для разработанной конструкции аэродинамической трубы является определение переходного коэффициента для переноса результатов модельных испытаний на натурные объекты, также научно значимым является опытное определение составляющих полного воздушного сопротивления с использованием навесного оборудования, изготовленного методами 3D моделирования.

Из вышесказанного можно сделать выводы:

1) в исследованиях аэродинамических характеристик автомобилей широко применяются масштабированные трубы и модели автомобилей, которые значительно упрощают решение задач по определению полного воздушного сопротивления и его компонент, а также расширяют понимание фундаментальных явлений;

2) аэродинамическая характеристика модели для более полного определения физических процессов должна включать прежде всего величины коэффициентов лобового сопротивления [4, с. 60];

3) в настоящее время не исследованы составляющие аэродинамического сопротивления, такие как профильное, индуктивное и донное, а также отсутствуют методики определения перечисленных составляющих полного аэродинамического сопротивления;

4) только комплексное применение экспериментальных и расчетных методов позволит наиболее полно оценить аэродинамическое поведение автомобиля [5, с. 86].

На кафедре транспортных процессов и технологий ВГУЭС в лаборатории компьютерной диагностики и инструментального контроля автомобилей разработана и построена испытательная установка, состоящая: из несущей многопролетной рамы; масштабированной аэродинамической трубы; электродвигателя; нагнетающего вентилятора; ступенчатой ременной передачи; диффузоров; выпрямляющей решетки; неподвижной платформы с масштабированной моделью автомобиля; датчиков скорости потоков воздуха и измерительной системы (рис. 1).

Рабочая часть испытательной аэродинамической трубы изготовлена из листа оргстекла и усилена тремя металлическими бандажными кольцами толщиной 0,2 мм. Представляет собой пустотелый цилиндр с неподвижной платформой для исследуемой модели, в перспективе с бегущей лентой для имитации дороги и вращения колес. Сопло круглого сечения диаметром 480 мм. Длина рабочей части трубы составляет 1150 мм.

Несущая конструкция представляет собой многопролетную раму, изготовленную из стальных уголков 50x50 мм. К бандаж-

ным кольцам прикреплена стержневая система стабилизации аэродинамической трубы, соединенная с помощью сайлентблоков с рамой для гашения вибраций и колебаний, создаваемых вентилятором и электродвигателем. Основой системы стабилизации являются стальные стержни диаметром 6 мм и сайлентблоки резиново-металлические с диаметром наружной обоймы 30 мм.

Диффузоры (рис. 2) предназначены для превращения кинетической энергии в энергию давления воздуха. Диффузоры представляют собой усеченные конусы, изготовленные из оцинкованного железа толщиной 0,1 мм.

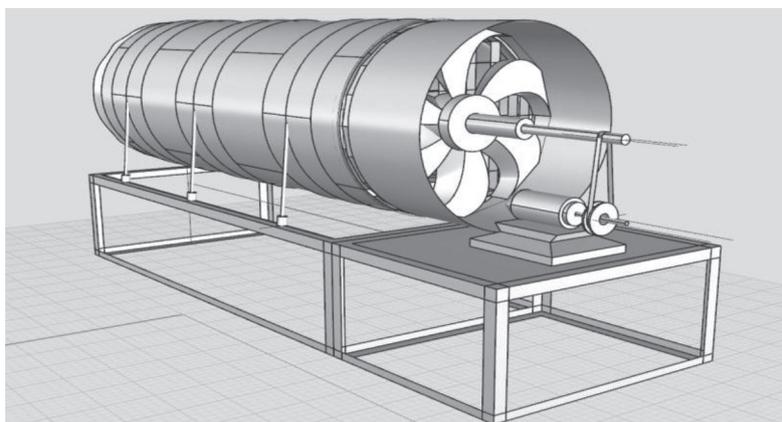


Рис. 1. Испытательная установка с аэродинамической трубой

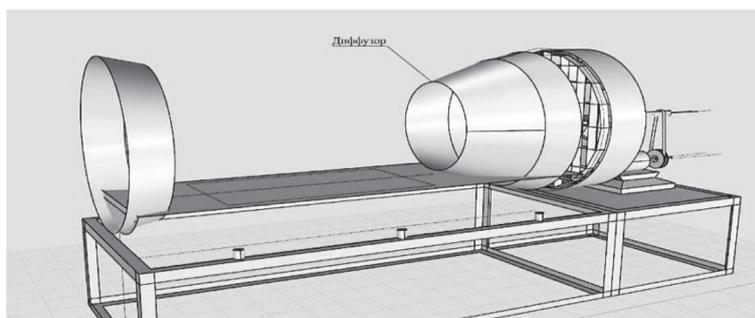


Рис. 2. Диффузоры

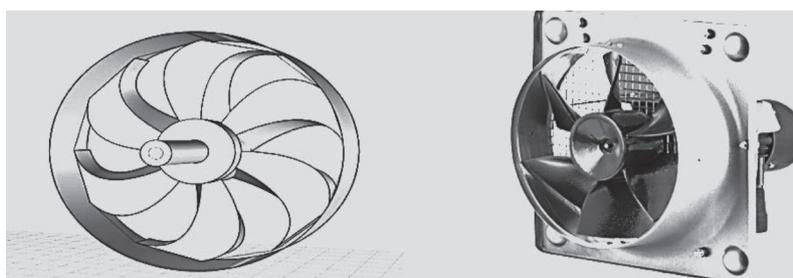


Рис. 3. Осевой вентилятор серии HDB/HDT

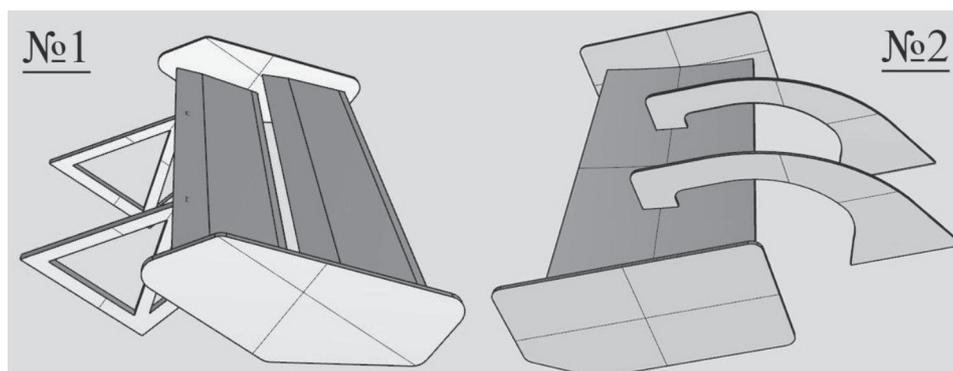


Рис. 4. Масштабированные антикрылья

Подвесной шестилопастной нагнетающий осевой вентилятор (рис. 3) серии HDB/HDT изготовлен из алюминия, закреплен с помощью резьбового соединения с ведущим валом установки. Посадочный диаметр вентилятора – 21 мм, производительность – 2640 м³/ч, высота – 400 мм, ширина – 400 мм.

Двигатель АПН011/2 – трехфазный, асинхронный, используется в связи с широкими возможностями регулирования частоты вращения. Номинальная мощность – 0,8 кВт, частота вращения – 3000 об/мин, диаметр выходного вала – 10 мм.

В основу эксперимента положены масштабированные радиоуправляемые полноприводные модели автомобилей Chevrolet Camaro и Subaru Impreza, имеющие электрический двигатель, масляные амортизаторы с пружинами, шасси особой прочности и специальные шины.

На базе лаборатории «FabLab» ВГУЭС были спроектированы и изготовлены методом 3D моделирования антикрылья как элементы тюнинга (рис. 4), для дальнейшего изучения их характеристик в испытательной аэродинамической трубе.

Максимальная скорость воздушного потока в разработанной аэродинамической трубе составила 60 м/с. Диапазон изменения рабочих скоростей при испытании масштабных моделей легковых автомобилей составляет 40–50 м/с. По результатам 10-кратных измерений для модели легкового автомобиля доверительный интервал для коэффициента лобового сопротивления S_x составляет $\pm 0,0067$ (2,5%) при скорости 40 м/с и $\pm 0,0041$ (1,2%) при скорости 50 м/с. Для коэффициента подъемной силы доверительный интервал при скорости 40 м/с составляет $\pm 0,0095$ (5,2%) и при скорости 50 м/с $\pm 0,0048$ (2,7%). Начальная степень турбулентности потока $\varepsilon = 0,56\%$. Коэффи-

циент поля трубы $\mu = 1,12$. Масштаб модели легкового автомобиля – 1:10.

Все масштабные модели устанавливались относительно неподвижного экрана с одним постоянным по величине дорожным просветом.

Для возможности сравнения весовых нагрузок на модель скорость продувки в каждом эксперименте была постоянной. Рабочая скорость выбиралась по результатам определения зоны автомодельности, т.е. при постоянстве числа Re .

Анализ полученных результатов экспериментов показал хорошую сходимость и позволил сделать следующие выводы по исследованию:

1) разработана и изготовлена масштабированная аэродинамическая труба для изучения компонент полного воздушного сопротивления и влияния различных конструктивных элементов кузова автомобиля на его аэродинамические характеристики;

2) разработаны и изготовлены методами 3D моделирования элементы навесного оборудования кузова (две конструкции антикрыльев), влияющие на аэродинамические характеристики автомобиля;

3) экспериментально получены значения коэффициентов лобового сопротивления масштабированных моделей легковых автомобилей с различным навесным оборудованием как части полного аэродинамического сопротивления;

4) практическим результатом проведенных экспериментов при настоящем состоянии масштабированной аэродинамической трубы и ее измерительной системы можно признать полученные значения коэффициентов лобового сопротивления для моделей, пригодные для проведения качественного анализа, из которого следует, что не оборудованная разработанными антикрыльями модель имеет наименьшее лобовое сопротивление.

Разработанная авторами масштабированная аэродинамическая труба имеет инновационный потенциал по следующим показателям:

- получение статистической базы результатов экспериментов для решения технических задач об увеличении скорости автомобиля, улучшении управляемости, уменьшении воздушного сопротивления, улучшении экономических и экологических характеристик;

- разработка новых способов определения составляющих аэродинамического сопротивления масштабных моделей легковых и грузовых автомобилей, определение компонент воздушных сопротивлений при изменении геометрических характеристик моделей – профильного, индуктивного и донного;

- решение задачи именно об экономии топлива и экологичности транспортных средств, что является прямым следствием данной работы;

- является основой лабораторной базы для дисциплины «Тюнинг автомобиля» и может быть применена в учебном процессе ВГУЭС.

Заключение

На кафедре транспортных процессов и технологий ВГУЭС в лаборатории компьютерной диагностики и инструментального контроля автомобилей решена сложная основная задача проектирования и построения работоспособной масштабированной аэродинамической трубы для экспериментального определения компонент воздушного сопротивления в режиме обращенного движения на уменьшенных моделях автомобильного транспорта со сменным навесным оборудованием.

Областью применения трубы является учебный процесс, НИР и НИРС.

Изготовлены методами 3D моделирования две конструкции антикрыльев, которые способны оказать влияние на основные компоненты аэродинамического сопротивления моделей транспортных средств, а именно на подъемную силу, действующую на автомобиль при больших скоростях движения.

Получены экспериментальные данные коэффициентов лобового сопротивления моделей в первичном эксперименте, с помощью которых возможно теоретическое

определение других компонент сопротивления, разработка способов комплексного подхода, т.е. комбинации расчетных методов и экспериментальных, с сохранением достоверности результатов.

Результаты данной работы имеют теоретическую значимость, так как способствуют разработке аэродинамической теории поведения автомобилей, которая в настоящее время находится в зачаточном состоянии по сравнению с теорией летательных аппаратов.

Практическую значимость данной работы трудно переоценить. Подобные экспериментальные установки имеются только в крупных автомобильных вузах, и их параметры работоспособности не позволяют оценить полное аэродинамическое сопротивление ни качественно, ни количественно, задачи решаются узкими практически методами.

Настоящая экспериментальная установка при дальнейшем развитии лабораторной базы может быть применена для решения не только практических задач, но и для вклада в разработку аэродинамической теории автомобилей.

В дальнейшем планируется создание второй аэродинамической трубы с закрытым контуром, в которой для соблюдения реальных дорожных условий будет применено удаление пограничного слоя с опорной поверхности, замененной бегущей лентой для имитации вращения колес.

Список литературы

1. Мустафаев И.С. Влияние внешнего дизайна автомобиля на аэродинамические характеристики / И.С. Мустафаев, Е.Ф. Чубенко // Интеллектуальный потенциал вузов – на развитие Дальневосточного региона России и стран АТР: материалы XIX междунар. науч.-практ. конф. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2017. – Т. 4. – С. 243–246.
2. Евграфов А.Н. Аэродинамика автомобиля: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГИУ, 2010. – 356 с.
3. Банников В.А. К вопросу экспериментального определения воздушного сопротивления движению автомобиля и сопротивления качению колеса / В.А. Банников // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2013. – № 4. – С. 67–71.
4. Королев Е.В. Аэродинамические трубы как инструмент исследования / Е.В. Королев, Р.Р. Жамалов, А.И. Котин // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 12. – С. 54–62.
5. Белогуров Е.А. Определение силы аэродинамического сопротивления автомобиля дорожным методом / Е.А. Белогуров // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2014. – № 4. – С. 85–91.