

УДК 629.331

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ АВТОМОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ

Киселёва Н.Н., Платонов А.А.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения»,
Москва, e-mail: paa75@yandex.ru

Приведено обоснование целесообразности дальнейшего совершенствования формы и деталей автомобиля при одновременном соблюдении требований по безопасности движения. Выявлена необходимость улучшения аэродинамических характеристик транспортных средств независимо от формы их кузова и соблюдаемого скоростного режима. Раскрыта главная проблема, которую решают при моделировании обтекания автомобиля воздушными потоками с обоснованием целесообразности соблюдения значений коэффициента лобового аэродинамического сопротивления. Установлена возможность проведения исследований аэродинамических характеристик транспортных средств по их полной геометрической модели без упрощений, используя при этом различные программные комплексы, предназначенные для виртуального продувания различных объектов, и приведен пример моделирования загрязнения кабины автомобиля для дальнейшего расчёта траектории полёта частиц, загрязняющих автомобиль. Сделан вывод о целесообразности использования подобных современных программных комплексов, позволяющих оптимизировать исследуемую конструкцию.

Ключевые слова: автомобиль, аэродинамические характеристики, моделирование

MODERN INFORMATION OF TECHNOLOGY FOR EXECUTION OF EXPERIMENTS AUTOMOTIVE STYLING AERODYNAMICS OF THE CAR

Kiseleva N.N., Platonov A.A.

Moscow State University of Railway Engineering, Moscow, e-mail: paa75@yandex.ru

The substantiation of the expediency of further improvement the forms and details of the car, while respecting the requirements for the safety of their movement. Identified a need improve the aerodynamic the performance of vehicles regardless of the form of bodywork and observe speed limits. Disclosed the main problem, which is solved in modeling of flow around a car with air currents substantiate usefulness of compliance with the degree of frontal aerodynamic drag. Established the possibility of carrying out research of aerodynamic characteristics of vehicles at their full geometric model without simplifications, using a variety of software systems, designed for a virtual purge of different objects, and an example of pollution modeling the cab car for further calculation the trajectory of particles polluting car. It is concluded that the feasibility of using these modern software systems to optimize the studied structure.

Keywords: car, aerodynamic characteristics, modeling

Динамичное развитие отрасли современного автомобилестроения ставит новые задачи по совершенствованию формы и деталей автомобиля. При этом увеличение скорости движения современных автомобилей повышает требования к их безопасности, важной составляющей которой является возможность водителя полно и своевременно оценивать дорожную обстановку.

В немалой степени дорожная обстановка оценивается через боковые стёкла и боковые зеркала заднего вида, загрязнение которых ухудшает обзор, создавая при этом угрозу безопасности движения не только для самого водителя, но и для окружающих его транспортных средств.

Вопросам обеспечения безопасности движения транспортных средств и в частности совершенствования их аэродинамических характеристик посвящены работы многих отечественных исследователей [3, 4, 5, 6 и др.].

О важности аэродинамики задумались еще в начале XX века, и уже тогда появились первые модели с улучшенной аэродинамикой. Некоторые из них были сделаны в форме капли, однако уже тогда стало понятно, что ездить в такой машине было неудобно. Поэтому в серийных автомобилях стали использовать отдельные элементы каплевидной формы: делать покатым задок и округлять переднюю часть.

Во многих работах отмечается, что одной из основных характеристик аэродинамики автомобиля является коэффициент лобового аэродинамического сопротивления C_x (C_w в немецкой литературе и C_d в американской) (рис. 1). Обычные значения для современных моделей – от 0,28 до 0,4, что позволяет достигать необходимых значений как по скоростным режимам, так и по комфорту водителей и пассажиров.

В [1] отмечается, что главной особенностью при создании автомобиля является

моделирование обтекания автомобиля воздушными потоками (в частности, внешнее обтекание автомобиля). При обтекании автомобиля (рис. 2) поток относительно тела обдувается воздухом с некоторой скоростью, располагаясь в непосредственной близости от экранирующей плоскости (в данном случае это полотно дороги) и перемещаясь под телом со скоростью движения автомобиля. При этом главная проблема, которую решают при отработке аэродинамики, – это снижение лобового аэродинамического сопротивления.

В исследовании [2] было показано, что основными методами определения аэродинамических характеристик в середине XX века были испытание автомобиля в реальных условиях на дороге и продувание масштабной модели в аэродинамической трубе. Наибольшие издержки при моделировании большого количества вариантов конфигурации являются преимущественным недостатком этих методов.

Однако в работе [10] отмечалось, что благодаря росту быстродействия ЭВМ в настоящее время появилась возможность выполнения численных исследований, что позволяет проводить не только расчёты большого числа вариантов, но и моделирование объектов.

Современное моделирование происходит в трёхмерной постановке, согласно принципу «как есть», то есть существует возможность исследования полной геометрической модели без упрощений. При этом пользователь может выбрать степень детализации моделируемого объекта, обеспечивая, при необходимости, разумный компромисс между точностью и временем вычислений.

Программный комплекс FlowVision предназначен для виртуального продувания различных объектов с целью исследования их аэродинамики. Поддерживаются различные скорости набегающего потока, а также задание степени турбулентности (возмущённости), что анализируется в работе [7].



Рис. 1. Аэродинамика автомобиля сверху и снизу

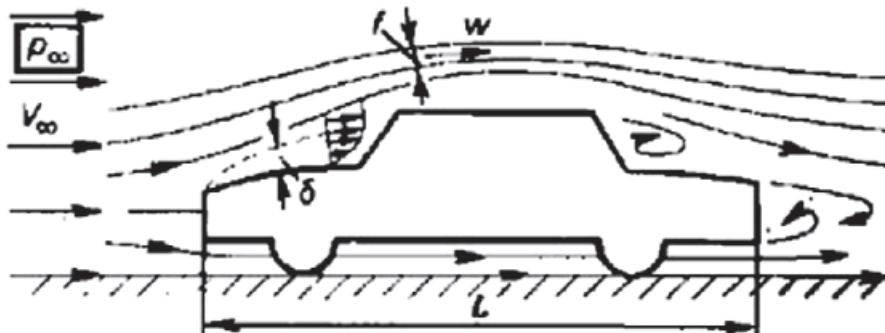


Рис. 2. Схема обтекания автомобиля потоком

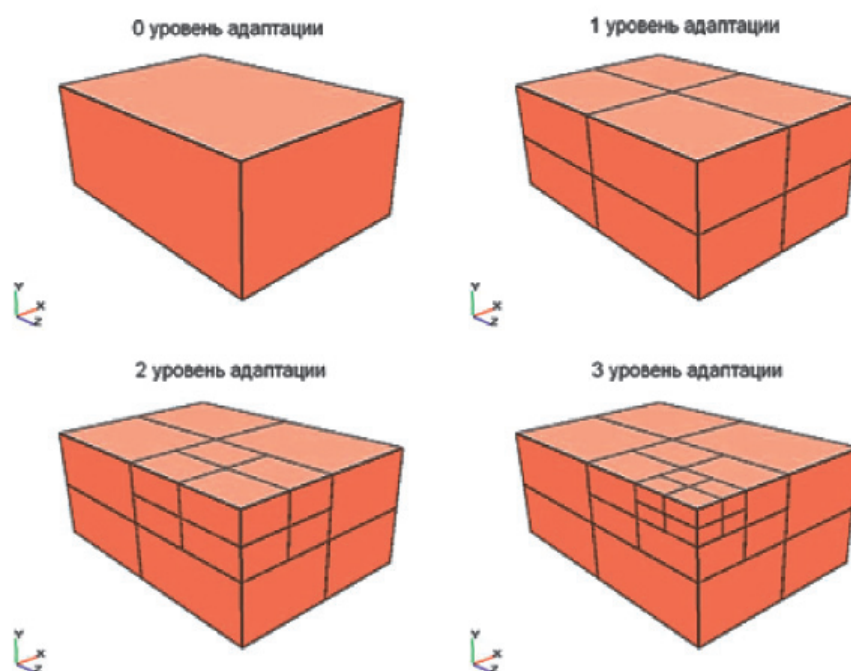


Рис. 3. Схема адаптации расчётной сетки FlowVision

В основе математического алгоритма, используемого в FlowVision, лежит закон сохранения масс и теоремы Остроградского – Гаусса, то есть нахождения среднего значения в объёме на основе данных на границах. Получение более точного решения обеспечивается за счёт разбиения расчётного объёма на ячейки меньшего размера. В FlowVision для построения сетки используются ячейки в виде прямоугольных параллелепипедов (рис. 3). FlowVision позволяет моделировать подвижные тела, придавая им поступательное или вращательное движение, комбинируя следующие способы: определение скорости движения тела; определение силы, действующей на тело; воздействие среды на тело. Программный комплекс FlowVision позволяет моделировать и использовать параллельные вычисления в автоматическом режиме, при этом от пользователя только требуется указать количество ядер. Разбиение области между процессорами и обмен данными алгоритм выполняет самостоятельно.

Семейство программ ANSYS включает в себя программы для расчёта прочности, долговечности, динамики жидкости, газа и твёрдых тел, а также междисциплинарный анализ. Программный комплекс ANSYS CFX, описанный в работе [8], – это мощный инструмент, предназначенный для оптимизации разработки конструкций, с учётом динамики жидкости и газа. Адаптивная ар-

хитектура позволяет выполнять различные действия, такие как анализ течения жидкости и взаимодействия сложных структур. Для построения сетки используется компонент ANSYS Meshing, который предоставляет множество различных технологий построения сетки. Пользователь также имеет возможность редактировать сетку и строить структурированную гексагональную сетку. Ядром модуля ANSYS CFX является современный алгебраический многосеточный сопряженный решатель, в основе которого лежит технология Coupled Algebraic Multigrid, которая позволяет получить точные результаты за малое время. Поддерживается возможность корректировки граничных условий и параметров решателя во время выполнения расчёта без необходимости останавливать решатель. В ANSYS CFX применяется схема дискретизации второго порядка точности по умолчанию, что обеспечивает приемлемую погрешность. Использование технологии сопряженных решателей ANSYS CFX дает значительные преимущества при проведении любого расчета и позволяет получить устойчивые и масштабируемые решения для различных задач.

Решатель ANSYS CFX разрабатывался с учётом требования эффективности при параллельных расчетах. Это стало особенно актуально, ввиду распространения многоядерных процессоров и кластеров.

При этом ANSYS CFX обладает масштабируемостью, позволяя эффективно использовать доступные процессорные ядра и оперативную память. Точность расчетов также сильно зависит от выбора адекватной физической модели. Модуль ANSYS CFX содержит большое количество физических моделей, при этом обеспечивается взаимодействие между физическими моделями с различными типами элементов и соединений сеточных интерфейсов, что позволяет выполнять сложные междисциплинарные расчеты. ANSYS поддерживает такие модели, как турбулентность, вращающиеся машины, многофазные потоки, теплообмен и радиационный обмен, горение, жидко-конструкционное взаимодействие, движущаяся сетка и погруженные в жидкость твёрдые тела.

Как показано в работе [9], STAR-CCM+ является одним из наиболее современных программных комплексов, разработанных для решения задач механики сплошных сред. STAR-CCM+ использует такие решатели, как связанный (coupled solver) и разделённый (segregated solver).

К особенностям STAR-CCM+ относятся:

- восстановление целостности поверхности (surface wrapping), создания сеток различной конфигурации из многогранных ячеек, в том числе произвольных. Использование этих средств существенно сокращает время решения задачи;

- поддержка большого количества физических моделей, таких как турбулентные и ламинарные течения, ньютоновские и неньютоновские жидкости, многофазные среды, излучение, горение, развитие пограничного слоя, кавитация, сверхзвуковые течения, сопряженный теплообмен и другие;

- средства визуализации. Пользователь может видеть результаты в процессе расчёта и изменять параметры;

- надёжность результатов. Устойчивый решатель STAR-CCM+ работает без аварийных остановов;

- модели совместимы с существующими программными продуктами: STAR-CD, ICEM, GridGen, Gambi;

- масштабируемость параллельных вычислений: позволяет использовать модели, состоящие из 1 млрд и более ячеек;

- средства построения сеток STAR-CCM+ включают в себя ряд алгоритмов, таких как восстановление целостности поверхности (Surface Wrapper: позволяет автоматически исправлять сложные CAD-модели для получения замкнутой поверхности); средства перестроения поверхностной сетки (Surface Re-meshing: перестраивает импортированную сетку для получения по-

верхностной сетки, оптимизированной для проведения расчётов. Есть возможность построить на её основе объёмную сетку из многогранных ячеек); средства построения сеток из многогранных ячеек (Polyhedral Meshing: повышает точность вычислений моделей со сложной геометрией); технология «усечённых» ячеек (trimmed cells: повышает надёжность работы с многогранными ячейками, избегая ошибок связности; построения сеток различной конфигурации для различных частей модели (Multi-region meshing: такие возможности позволяют строить расчётные сетки для решения задач сопряженного теплообмена, моделирования пористых сред, а также вращающихся механизмов); «конвейерная» методика («pipeline» methodology: эффективна при наличии нескольких конфигураций модели).



Рис. 4. Геометрия кабины после импорта

При помощи программного комплекса Star-CCM+ было произведено моделирование загрязнения кабины автомобиля и расчёт траектории полёта частиц, загрязняющих автомобиль. Для проведения расчётов в Star-CCM+ была использована модель геометрии кабины с колесом и боковым зеркалом коммерческого автомобиля, которая создавалась в пакете Autodesk Inventor 2012. Данная модель была сохранена в формате X_B и далее успешно импортирована в рабочую среду Star CCM+. На рис. 4 представлена геометрия кабины после импорта для последующего моделирования её загрязнения.

Вывод

Таким образом, как было сказано выше, при проведении экспериментов моделирования аэродинамики автомобиля целесообразно использовать современные программные комплексы, предназначенные для виртуального продувания различных объектов с целью исследования их аэродинамики.

Данные программные комплексы позволяют моделировать подвижные тела, придавая им поступательное или вращательное движение, а также использовать параллельные вычисления в автоматическом режиме. Кроме того, они позволяют оптимизировать конструкцию с учётом динамики жидкости и газа, а также решать задачи механики сплошных сред.

Список литературы

1. Вопросы механики обтекания автомобилей [Электронный ресурс] // Устройство автомобилей [сайт] [2014]. – URL: <http://autonotes.info/voprosy-mexaniki-obtekanija-avtomobilej/> (Дата обращения: 6.05.2014).
2. Гросс Д.С., Сексинский У.С. Некоторые проблемы испытаний автомобилей в аэродинамических трубах: пер. с англ. Ф.Н. Шклярчука // Аэродинамика автомобиля: сб. статей. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.
3. Евграфов А.Н. Аэродинамика автомобиля. – М.: МГИУ, 2010. – 356 с.
4. Киселева Н.Н., Катаева Л.Ю., Масленников Д.А. Воздействие аэродинамики на безопасность эксплуатации автомобиля // Новые технологии и проблемы технических наук: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Инновационный центр развития образования и науки. – Красноярск, 2014. – С. 16–19.
5. Платонов А.А. Особенности обеспечения безопасности движения в Европейском Союзе // Воронежский научно-технический Вестник. – 2013. – № 4. – С. 50–57.
6. Платонов А.А., Платонова М.А. Особенности организации безопасного движения специального самоходного подвижного состава // Воронежский научно-технический Вестник. – 2014. – № 2 (8). – С. 80–86.
7. Программный комплекс FlowVision [Электронный ресурс] // Компания Тесис [сайт] [2014]. – URL: <http://www.tesis.com.ru/software/flowvision/> (Дата обращения 07.02.2014).
8. Программные продукты ANSYS [Электронный ресурс] // Группа компаний «ПЛИМ Урал»: Единый центр поддержки продуктов ANSYS [сайт] [2014]. – URL: <http://www.cae-expert.ru> (Дата обращения 07.02.2014).
9. Программный продукт Star-CCM+ [Электронный ресурс] // Саровский инженерный центр [сайт] [2014]. – URL: <http://www.saec.ru/products/cd-adapco/star-ccm#&panel1-3> (Дата обращения 20.03.2014).
10. Hucho W.-H. Aerodynamics of Road Vehicles. – 4-th Edition. – Warrendale, Pa.: SAE Publication, 1998.

References

1. Voprosy mekhaniki obtekanija avtomobilej [Elektronnyj resurs] // Ustrojstvo av-tomobilej [sajjt] [2014]. URL: <http://autonotes.info/voprosy-mexaniki-obtekanija-avtomobilej/> (Data obrashhenija: 6.05.2014).
2. Gross D.S., Seksinskij U.S. Nekotorye problemy ispytaniij avtomobilej v aehrodynamiceskikh trubakh Aehrodinamika avtomobilja. Sb. statej. Per. s angl. F. N. Shkljarchuka. M.: Mashinostroenie, 1984. 376 p.
3. Evgrafov A.N. Aehrodinamika avtomobilja. M.: MGIU, 2010. 356 p.
4. Kiseleva N.N., Kataeva L.Ju., Maslennikov D.A. Vozdejstvие aehrodinamiki na bezopasnost' ehkspluatatsii avtomobilja // V sbornike: Novye tekhnologii i problemy tekhnicheskikh nauk Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Innovacionnyj centr razvitija obrazovanija i nauki. Krasnojarsk, 2014. pp. 16–19.
5. Platonov A.A. Osobennosti obespechenija bezopasnosti dvizhenija v Evropejskom Sojuze // Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij Vestnik. 2013. no. 4. pp. 50–57.
6. Platonov A.A., Platonova M.A. Osobennosti organizatsii bezopasnogo dvizhenija special'nogo samo-khodnogo podvizhnogo sostava // Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij Vestnik. 2014. no. 2 (8). pp. 80–86.
7. Programmnyj kompleks FlowVision [Elektronnyj resurs] // Kompanija Tesis [sajjt] [2014]. URL: <http://www.tesis.com.ru/software/flowvision/> (Data obrashhenija 07.02.2014).
8. Programmnye produkty ANSYS [Elektronnyj resurs] // Gruppy kompanij «PLM Ural»: Edinyj centr podderzhki produktov ANSYS [sajjt] [2014]. URL: <http://www.cae-expert.ru> (Data obrashhenija 07.02.2014).
9. Programmnyj produkt Star-CCM+ [Elektronnyj resurs] // Sarovskij inzhenernyj centr [sajjt] [2014]. URL: <http://www.saec.ru/products/cd-adapco/star-ccm#&panel1-3> (Data obrashhenija 20.03.2014).
10. Hucho W.-H. Aerodynamics of Road Vehicles. 4-th Edition. Warrendale, Pa.: SAE Publication, 1998.

Рецензенты:

Волков В.С., д.т.н., профессор кафедры автомобилей и сервиса, ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж;

Макеев В.Н., д.т.н., профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии, ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 06.02.2015.