



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.94

АНАЛИЗ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОНОЧНОГО АВТОМОБИЛЯ КЛАССА FORMULA STUDENT

¹Гулин М.С., Куркин А.А., Кулагин А.Л., Кузмичёв В.А., Капустин А.Г.
ФГБОУ ВО "НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА", Нижний Новгород, Россия (603155, Нижегородская область, город Нижний Новгород, ул. Минина, д.24), e-mail: ¹ Gylin103@mail.ru

Предлагаемая работа описывает процесс подбора оптимальной конфигурации для автомобиля команды Sapienza Fast Charge. Для достижения поставленной цели был проведен анализ с несколькими испытаниями на трассе, сравнимой с трассой для заезда на выносливость. Тесты проводились с различными конфигурациями кузова и аэродинамических элементов, а также с различными вариантами управления энергопотреблением, реализованными в схеме питания инвертора. Наилучший результат, с соблюдением правил Formula Student 2020, был достигнут, благодаря сочетанию наилучшего времени на трассе и меньшего энергопотребления. Данная работа начинается с описания прототипа автомобиля, деталей силового агрегата и аккумулятора, установленных на борту. Далее приложена информация о спроектированных и построенных аэродинамических элементы, и представлен CFD-анализ их характеристик. Также рассмотрено описание тестовой трассы и проведено сравнение традиционной трассы для теста на выносливость в Formula Student. Описаны параметры, измеренные экспериментально и все проведенные тесты, чтобы определить оптимальную конфигурацию автомобиля. Ключевые слова: Цифровые подстанции, МЭК 61850, автоматизация, энергетические системы, стандарты, сети связи, передача данных, эффективность, надежность, инновации, современные требования, технологические решения.

Ключевые слова: Транспортное средство, электрический, аэродинамика, энергетический, экспериментальный.

ANALYSIS OF AERODYNAMIC PARAMETERS OF A FORMULA STUDENT CLASS RACING CAR

¹Gulin M.S., Kurkin A.A., Kulagin A.L., Kuzmichev V.A., Kapustin A.G.
"NIZHNY NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY" R.E. ALEKSEEVA", Nizhny Novgorod, Russia (603155, Nizhny Novgorod region, Nizhny Novgorod city, Minina str., 24), e-mail: ¹ Gylin103@mail.ru

The proposed work describes the process of selecting the optimal configuration for the Sapienza Fast Charge team car. To achieve this goal, an analysis was conducted with several tests on a track comparable to an endurance race track. The tests were carried out with various body configurations and aerodynamic elements, as well as with various energy management options implemented in the inverter power supply circuit. The best result, in compliance with the rules of Formula Student 2020, was achieved by combining the best time on the track and lower energy consumption. This work begins with a description of the prototype car, the parts of the power unit and the battery installed on board. Next, information about the designed and built aerodynamic elements is attached, and a CFD analysis of their characteristics is presented. The description of the test track is also considered and a comparison of the traditional track for the endurance test in Formula Student is carried out. The

parameters measured experimentally and all the tests performed to determine the optimal configuration of the car are described.

Keywords: Vehicle, electric, aerodynamic, energy, experimental.

Описание

Formula Student Electric - это научно-образовательное соревнование, которое требует разработки и изготовления полностью электрического прототипа автомобиля с открытыми колесами. Автомобили оцениваются как по производительности, так и по общей энергоэффективности. Например, в заезде на выносливость, который является одним из важнейших этапов соревнований. Оптимизация производительности и экономичности автомобилей затрагивает как силовой агрегат, так и кузов автомобиля. Поэтому можно выделить три важнейшие темы для разработки автомобилей: карты мощности, с помощью которых инвертор управляет электродвигателем, аэродинамический обвес, и общие технические характеристики автомобиля. Для достижения лучших показателей не обязательно использовать максимальную мощность, разрешенную правилами технического регламента, для силового агрегата (80 кВт). Также не обязательно устанавливать все компоненты аэродинамического обвеса (переднее антикрыло, заднее антикрыло и подкрылки с диффузорами). Стоит отметить, что наилучшей конфигурацией может оказаться не самая легкая машина. Все вышесказанное приводит к тому, что необходимо найти оптимальный баланс между различными характеристиками автомобиля.

Многоэлементные крылья широко используются в автоспорте для создания более высокого коэффициента подъемной силы (CL. На гоночных автомобилях области установки этих крыльев ограничены, но все же многие команды используют от 6 до 7 элементов только на переднем антикрыле. Конструкция многоэлементных крыльев очень сложна из-за ряда параметров. В многоэлементных крыльях представляет интерес область, где поток покидает первый элемент и перемещается ко второму элементу. Конструктивные параметры включают профили аэродинамического профиля, длину хорды, угол атаки, зазор между пазами и перекрытие.

Непосредственным преимуществом реализуемой модели k-epsilon является то, что она более точно предсказывает скорость распространения как плоских, так и круглых потоков. Также она обеспечивает превосходные характеристики для потоков, включающих вращение, пограничных слоев при сильных градиентах давления, разделение и рециркуляцию. Как реализуемая, так и RNG модели k-epsilon показали существенные улучшения по сравнению со стандартной моделью k-epsilon, где характеристики потока включают сильную кривизну линии обтекания, вихри и вращение. Одним из ограничений реализуемой модели k-epsilon является то, что она создает нефизическую турбулентную вязкость в ситуациях, когда вычислительная область содержит как вращающиеся, так и неподвижные зоны текучей среды (например, несколько систем отсчета, вращающиеся скользящие сетки). Это связано с тем фактом, что реализуемая модель k-epsilon включает эффекты среднего вращения при определении турбулентной вязкости. Этот эффект дополнительного вращения был протестирован на системах с одной вращающейся системой отсчета и показал превосходство по сравнению со стандартной моделью k-epsilon. Однако из-за характера этой модификации к ее применению к системам с несколькими системами отсчета следует относиться с некоторой осторожностью.

Модель SST обеспечивает превосходные характеристики для пограничного слоя, ограниченного стенками, потоков со свободным сдвигом и с низким числом Рейнольдса. Модель SST учитывает перенос турбулентного напряжения сдвига и дает высокоточные прогнозы возникновения и величины отрыва потока при неблагоприятных градиентах давления. Модель SST рекомендуется для высокоточного моделирования пограничного слоя. Однако ее зависимость от расстояния до стенки делает эту модель менее подходящей для свободных сдвиговых течений по сравнению со стандартным методом k-epsilon. Кроме того, модель SST требует более мелкую сетку вблизи стенки.

Таким образом, моделью, которую мы выбрали для нашего CFD-моделирования, представляла реализацию метода k-эпсилон.

Анализ

Первоначально для 2D-случаев данные о профилях были собраны из www.airfoiltools.com. Затем эти профили были смоделированы и протестированы с использованием ANSYS Fluent для анализа сетки; однако в этом исследовании представлен и обсуждается только 3D-пример проверки для анализа сетки. Вместо аэродинамического профиля на Ahmed было выполнено 3D-моделирование Кузова, который изображает упрощенную форму транспортного средства и в прошлом неоднократно тестировался в аэродинамической трубе, что делает его популярным инструментом для многих инженеров CFD. Тело Ahmed было смоделировано с помощью программного обеспечения Pro-Engineer и экспортировано в Design Modeler для pre mesh. Тело было разделено пополам, поскольку это задача с симметричным состоянием в стационарном режиме. Вокруг кузова было создано ограждение тех же размеров, что и испытательный участок в аэродинамической трубе (1,87 м x 1,4 м). Были смоделированы первый кузов, занимающий объем немного больше, чем само транспортное средство, и два других кузова; один снизу, а другой сзади. Эти тела были позже использованы при создании сетки в качестве объектов влияния (зон с максимальным размером элемента, определенным пользователем). Эти функции определения размеров тел использовались для точного моделирования потока, таких как области с высокими завихрениями, турбулентностью и разделением потока. Построение сетки для этой области было выполнено с использованием ANSYS Workbench. Были сгенерированы различные сетки с различными настройками, которые позже были смоделированы, а затем были отмечены ошибки экспериментальных значений. Следовательно, анализ сетки был выполнен на теле Ahmed. Три зафиксированных тела, которые были представлены в Design Modeler, затем использовались для определения размеров тела. В этих областях плотность сетки поддерживается постоянной путем указания максимального размера элемента в области. Всего было использовано 5 различных сеток. Решателем, использованным для анализа тела Ahmed, был ANSYS Fluent, использующий реализуемую модель турбулентности k-epsilon, гибридные и связанные схемы для инициализации и решения соответственно. Для пространственной дискретизации используется подветренный импульс второго порядка, турбулентная кинетическая энергия и скорость турбулентного рассеяния.

Численные результаты, полученные для пяти различных настроек сетки, были сопоставлены с испытаниями в аэродинамической трубе, проведенными в Техническом университете Граца, Австрия, и были признаны хорошо согласующимися. Это обеспечило

наиболее подходящий размер сетки для анализа чувствительности. Коэффициент лобового сопротивления (C_d) был рассчитан с использованием силы ветра 40 м/с, угла вылета 25 градусов и числа Рейнольдса $2,78 \times 10^6$. Это значение C_d также сравнивалось с аналитическими значениями, полученными с помощью различных методов моделирования CFD (вычислительной гидродинамики), чтобы подтвердить результаты.

После завершения процесса детального моделирования, анализа сетки и валидации была разработана стратегия анализа и внедрена в пакет аэродинамической прижимной силы. Результаты анализа подробно обсуждаются ниже. Для случая 1 максимальный CL (коэффициент подъемной силы), равный 3,63, был рассчитан путем выбора 1-го и 2-го элементов как 122-155 с соотношением хорд ($C1/C2$), равным 1,42, и L/D (отношение подъемной силы к лобовому сопротивлению), равным 21,5, где C1 обозначает 1-ю хорду, а C2 обозначает 2-й аккорд. Для случая 2 максимальное значение L/D, равное 54,1, было рассчитано путем выбора только 1-го элемента (BE 122-155), а 2-м элементом был E385 с другим соотношением хорд, равным 2,5, и был получен CL, равный 2,83.

Анализ также проводится с помощью закрылков или плетеных накладок (тонкая плоская пластина на конце, ориентированная под углом 90° к поверхности задней кромки второго элемента), которые являются простыми дополнениями к крылу. Это добавление толщиной ($0,05 C1$) привело к увеличению общей прижимной силы на 5,8%, т.е. к резкому повышению производительности.

После завершения проектирования крыльев было выполнено CFD-моделирование для всей установки с использованием скорости на входе = 20 м/с; среднего относительного давления на выходе = 0 Па, вращающейся стенки (шины) при $\omega = 82,88$ рад/с и скорости движущейся стенки (грунт) = 20 м/с. Сначала был смоделирован и протестирован базовый автомобиль без каких-либо аэродинамических устройств. Из-за высокой сложности было выполнено всего несколько итераций сборки диффузора. Затем крылья были добавлены ко всей установке и смоделированы, чтобы определить эффективную подъемную силу и лобовое сопротивление при скорости 20 м/с при лобовой площади транспортного средства $0,82 \text{ м}^2$.

Вывод

На основе подробных параметрических вычислений сделан вывод, что с увеличением количества элементов, создающих прижимную силу, общая прижимная сила увеличивается. Почти 60% прижимной силы создается передними и задними антикрыльями. По мнению экспертов, диффузор создает 30% общей прижимной силы, однако в этом исследовании разница объясняется некоторыми упрощениями при моделировании диффузора. Возможны различные улучшения в секции диффузора, которые рекомендуется провести в следующих исследованиях.

Список литературы

1. Ланфрит М. (2005) Рекомендации по наилучшей практике управления внешней аэродинамикой автомобилей с помощью FLUENT. Fluent Deutschland GmbH Биркенвег Дармштадт/Германия. Версия 1.2.
2. Профессионал/инженер. (2009) Wildfire Release 4.
3. Справочное руководство по ANSYS CFX. (2009). Выпуск 11.

4. Гильмино Э. (2008) Вычислительное исследование обтекания упрощенного кузова автомобиля, Журнал ветроэнергетики и промышленного применения, 96: С.1207-1217.
5. Кац Дж. (1996) Аэродинамика гоночных автомобилей: проектирование для скорости (инженерия и эксплуатационные характеристики). Издательство Bentley; 2-е издание. ISBN: 978-0837601427
6. Мингес М., Паскетти Р., Серре Э. (2008) Моделирование потока с большими вихрями высокого порядка над моделью автомобиля с кузовом Ahmed. Физика жидкостей. Том 20, 095101/17.
7. Байрактар И., Дэвид Л., Байсал О. (2001) Экспериментальное и вычислительное исследование корпуса Ахмеда для аэродинамики наземного транспортного средства, Технический университет Граца, документ SAE 2001-01-2742.
8. Кападия С., Рой С., Вурцлер К. (2003) Моделирование отдельных вихрей на эталонной модели автомобиля Ahmed, AIAA. Документ № 2003-0857.
9. Морел Т. (1978) Влияние наклона основания на характер обтекания и лобовое сопротивление трехмерных тел с тупыми концами, в: Совран Г., Морел Т., Мейсон У.Т. (ред.) Механизмы аэродинамического сопротивления кузовов с тупыми концами и дорожных транспортных средств. Пленум Пресс, Нью-Йорк, С. 191-226.

References

1. Lanfrith M. (2005) Recommendations on the best practice of controlling the external aerodynamics of cars using FLUENT. Fluent Deutschland GmbH Birkenweg Darmstadt/Germany. Version 1.2.
 2. Professional/engineer. (2009) Wildfire Release 4.
 3. The ANSYS CFX Reference Guide. (2009). Issue 11.
 4. Gilmino E. (2008) Computational Flow Study of a simplified car body, Journal of Wind Energy and Industrial Applications, 96: pp. 1207-1217.
 5. Katz J. (1996) Aerodynamics of racing cars: design for speed (engineering and performance). Bentley Publishing House; 2nd edition. ISBN: 978-0837601427
 6. Minges M., Paschetti R., Serre E. (2008) Modeling of a flow with large high-order vortices over a model of a car with an Ahmed body. Physics of liquids. Volume 20, 095101/17.
 7. Bayraktar I., David L., Baysal O. (2001) Experimental and computational study of the Ahmed hull for Ground Vehicle Aerodynamics, Technical University of Graz, SAE document 2001-01-2742.
 8. Kapadia S., Roy S., Wurzler K. (2003) Modeling of individual vortices on a reference model of an Ahmed, AIAA car. Document No. 2003-0857.
 9. Morel T. (1978) The effect of base tilt on the flow pattern and drag of three-dimensional bodies with blunt ends, in: Sovran G., Morel T., Mason U.T. (eds.) Mechanisms of aerodynamic drag of bodies with blunt ends and road vehicles. Plenum Press, New York, pp. 191-226.
-