

УДК 612.43.013

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ ФОРМ ЭКОМОБИЛЯ

А.Г. Авершин, ассистент, ХНАДУ

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы аэродинамического проектирования внешних форм экомобиля. Приведены требования, предъявляемые организатором соревнований. Поставлена задача и указаны направления аэродинамического проектирования. Представлены результаты исследования по базовым формам. Указаны пути совершенствования формы экомобиля. Рассмотрены примеры возможных компоновочных схем кузова. Сделаны выводы, указаны преимущества и недостатки по каждой компоновочной схеме экомобиля.*

***Ключевые слова:** аэродинамика, численное моделирование, экомобиль.*

АЕРОДИНАМІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЗОВНІШНІХ ФОРМ ЕКОМОБІЛЯ

А.Г. Авершин, асистент, ХНАДУ

***Анотація.** Розглянуто питання аеродинамічного проектування зовнішніх форм екомобіля. Наведено вимоги, які висувують організатори змагань. Поставлено завдання і вказано напрями аеродинамічного проектування. Представлено результати дослідження з базових форм. Вказано шляхи вдосконалення форми екомобіля. Розглянуто приклади можливих компоновальних схем кузова. Зроблено висновки, вказано переваги та недоліки за кожною компоновальною схемою екомобіля.*

***Ключові слова:** аеродинаміка, чисельне моделювання, екомобіль.*

AERODYNAMIC DESIGNING OF ECOMOBILE EXTERNAL FORMS

A. Avershyn, assistant, KhNAHU

***Abstract.** Problems of aerodynamic designing of ecomobile external forms are examined. Requirements of the organizer of the competition are imposed. Tasks and indicators of aerodynamic designing are given. The results of the research of the basic forms are offered. Ways to improve ecomobile shape are shown. Conclusions, advantages and disadvantages of each assembly scheme of the ecomobile are done.*

***Key words:** aerodynamics, numerical modeling, ecomobile.*

Введение

Ежегодно компания Shell проводит соревнования на специально спроектированных автомобилях под названием «Еco-marathon». Победителем этих соревнований является команда, автомобиль которой преодолеет 30–километровую дистанцию менее чем за час с наименьшими затратами топлива. Автомобили, участвующие в этих соревнованиях, должны обладать лучшей энергоэффективностью. Сопротивление качению колеса,

потери энергии в трансмиссии, аэродинамическое сопротивление, возникающее при движении экомобиля, должны быть сведены к минимуму.

Анализ публикаций

Аэродинамическое сопротивление, по данным источников [1, 2], может достигать 38 % от суммарного сопротивления. Поэтому автомобили, принимающие участие в этих соревнованиях, имеют специальную «обтекаемую» форму.

Цель и постановка задачи

Необходимо спроектировать одноместный автомобиль, отвечающий регламенту соревнований, для движения на дистанции со средней скоростью не ниже 30 км/ч, обладающий минимальным аэродинамическим сопротивлением и устойчивостью на трассе, удовлетворяющий компоновочным условиям.

С точки зрения аэродинамики, наименьшим аэродинамическим сопротивлением должно обладать тело «каплевидной» формы. При проектировании кузова автомобиля с низким аэродинамическим сопротивлением необходимо руководствоваться основными принципами аэродинамики.

Аэродинамическое сопротивление является суперпозицией следующих факторов: сопротивление формы, сопротивление трению воздуха о поверхность, сопротивление выступающих частей, сопротивление внутренних потоков.

Таким образом, кузов экомобиля должен иметь гладкую поверхность с минимальным коэффициентом трения и минимальную площадь поверхности, а также минимальное сечения. На поверхности кузова не должно быть выступающих частей, детали кузова должны стыковаться без зазоров, с сопряжением без резких перегибов, колеса и другие «плохо обтекаемые» элементы конструкции должны быть накрыты под обтекатели.

Постановка численного эксперимента

Исследование аэродинамических характеристик внешних форм экомобилей производилось методами вычислительной аэродинамики [3].

При разработке новой формы натурного образца экомобиля создавалась твердотельная модель кузова, которая затем погружалась в расчетную область.

Численное моделирование стационарного обтекания выполнялось с помощью программного комплекса *MTFS*[®]. Расчетная область описывалась гексаэдральной сеткой мощностью от 10–15 млн узлов со сгущениями вблизи твердых поверхностей для описания пограничного слоя. Интегрирование полных осредненных уравнений Навье–

Стокса осуществлялось разностной схемой 2-го порядка точности на основе *TVD* аппроксимации при замыкании $k-\varepsilon$ моделью турбулентности [4]. Для описания вязких эффектов в пограничном слое использовались пристенные функции, при этом максимальное значение переменной погранслоя соответствует $Y^+ \leq 3$ [5].

Вне расчетной области предполагалось невозмущенное течение.

Атмосферная среда описывалась моделью совершенного газа. В численных экспериментах использовались следующие начальные и граничные условия: скорость набегающего потока воздуха была направлена вдоль продольной оси автомобиля и составляла $V_\infty = 30$ км/ч. На дороге и боковых стенках задавались условия симметрии потока P_∞ – стандартное атмосферное давление. Ввиду симметрии кузова экомобиля рассчитывались аэродинамические характеристики обтекания симметричной половины кузова.

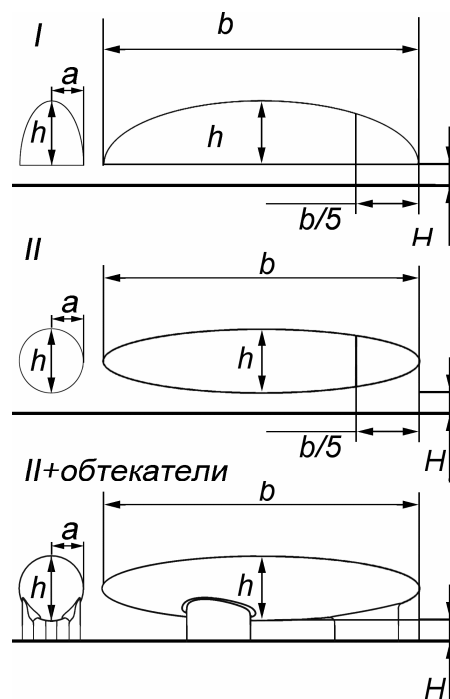


Рис. 1. Варианты базовых форм

Исследования формообразующего тела

На предварительном этапе аэродинамического проектирования внешних форм экомобиля проводилось исследование аэродинамических характеристик базовых форм. Базовые формы – элементарные геометрические фигуры, которые лежат в основе описания

внешней оболочки экомобиля. Аэродинамические исследования базовых форм необходимы для определения влияния внешних факторов на аэродинамические характеристики при минимизации влияния особенностей внешней формы конкретного автомобиля.

При проектировании экомобиля с учетом компоновочных решений выбраны базовые формы: полуэллипс с соотношением длины b к высоте $h = 5$ (рис. 2 I) и эллипс с соотношением длины b к высоте $h = 5$ (рис. 2 II).

Исследовались следующие варианты обтекания базовых форм.

1. Двухмерный расчет (БФ-I) в зависимости от H .
2. Двухмерный расчет (БФ-I) с отсеченной задней частью на расстоянии $1/5$ длины в зависимости от H .
3. Трехмерный расчет (БФ I) в зависимости от H .

4. Трехмерный расчет (БФ I) с отсеченной задней частью на расстоянии $1/5$ длины в зависимости от H .

5. Трехмерный расчет (БФ II) в зависимости от H .

6. Трехмерный расчет (БФ II) с отсеченной задней частью на расстоянии $1/5$ длины в зависимости от H .

7. Трехмерный расчет (БФ II) с обтекателями колес в зависимости от H .

Результаты серий расчетов (1, 2) представлены на рисунках 2–4.

Результаты серий расчетов (3, 4) представлены на рисунке 5. Результаты серий расчетов (5, 6) представлены на рис. 6.

Результаты моделирования обтекания эллипса совместно с обтекателями колес 7-ой серии (рис.1), а также сопоставления результатов расчетов с 6-ой серией даны на рис. 7.

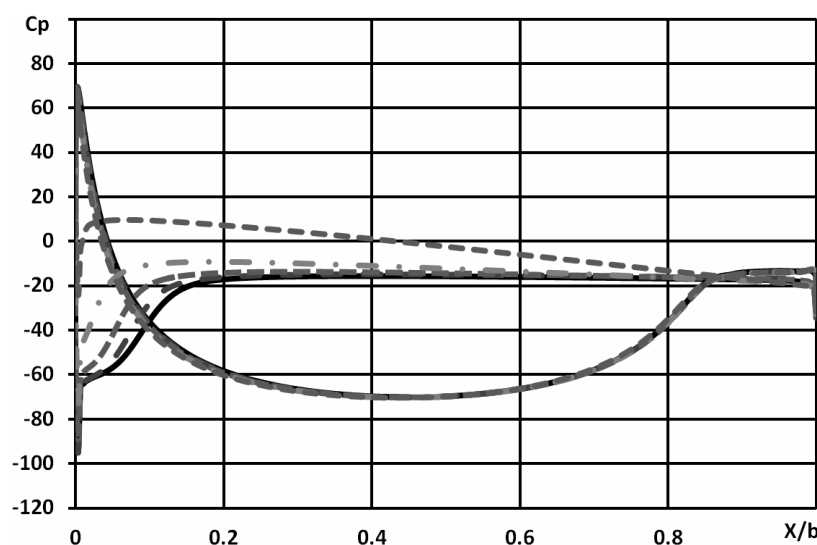


Рис. 2. Распределение давления по поверхности (БФ-I) в зависимости от расстояния до экрана: — — — 200mm; — — — 150mm; — — — 100mm; — — — 50mm; — — — 20mm

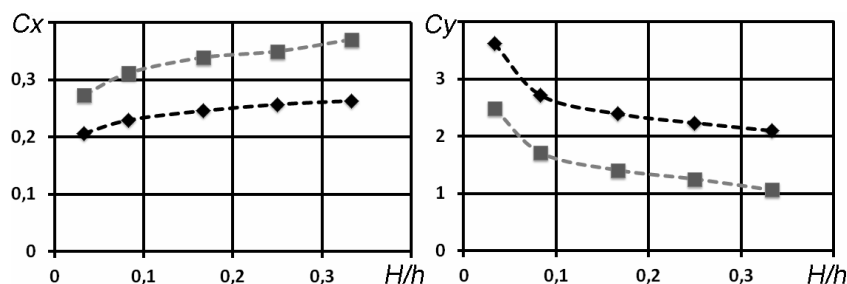


Рис. 3. Аэродинамические характеристики (БФ-I) в исходной и усеченной конфигурации в зависимости от расстояния до экрана: —♦— базовая конфигурация; —■— усеченная конфигурация

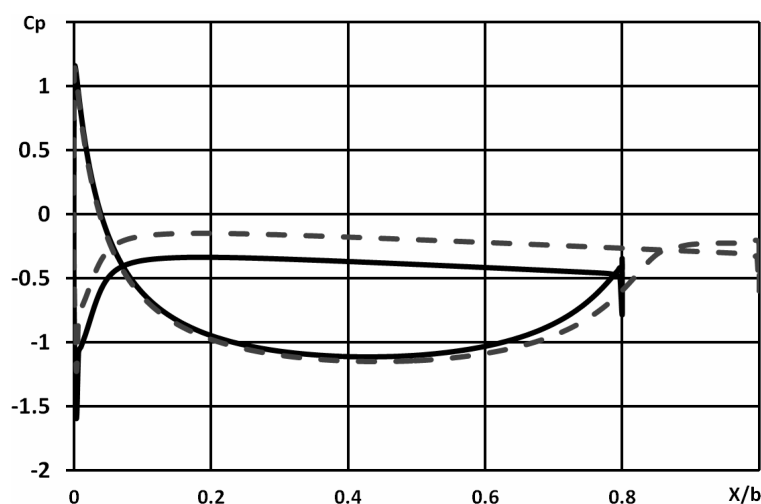


Рис. 4. Распределение давления по поверхности (БФ-I) в исходной и усеченной конфигурации на расстоянии 50 мм до экрана: — — усеченная конфигурация; - - - базовая конфигурация

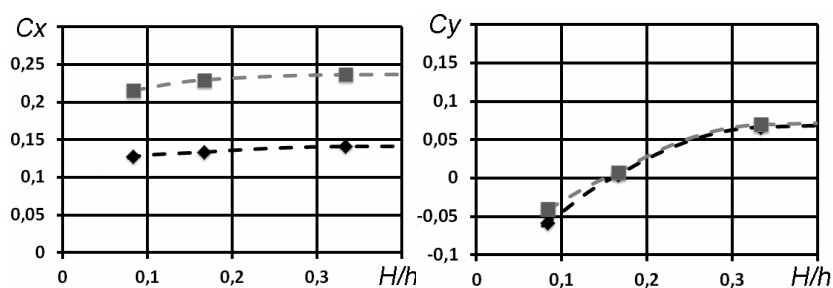


Рис. 5. Аэродинамические характеристики (БФ-I) в исходной и усеченной конфигурации в зависимости от расстояния до экрана: -♦- - базовая конфигурация; -■- - усеченная конфигурация

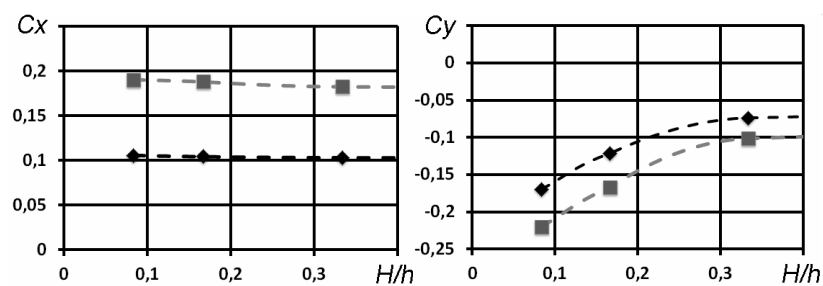


Рис. 6. Аэродинамические характеристики (БФ-II) в исходной и усеченной конфигурации в зависимости от расстояния до экрана: -♦- - базовая конфигурация; -■- - усеченная конфигурация

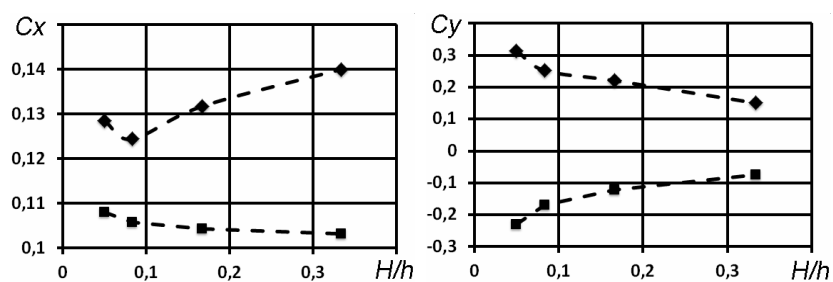


Рис. 7. Аэродинамические характеристики (БФ-II) в исходной конфигурации и совместно с обтекателями в зависимости от расстояния до экрана: -■- - (БФ-II); -♦- - (БФ-II+колеса)

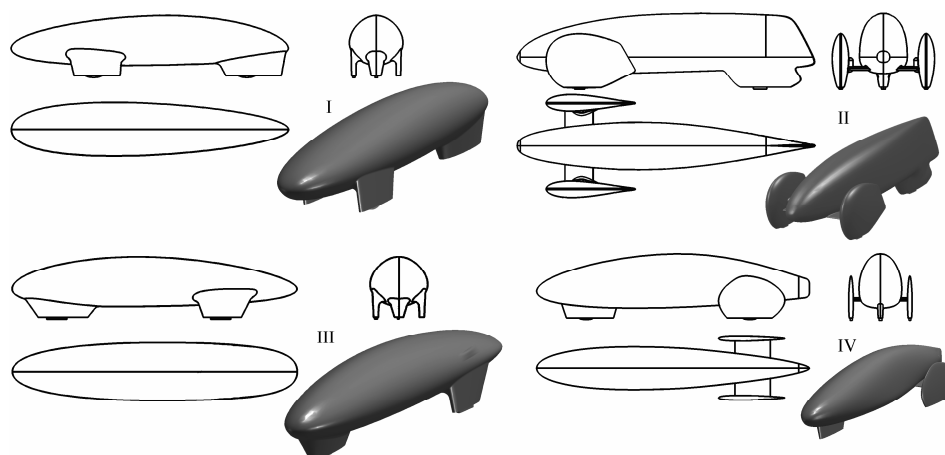


Рис. 8. Типы компоновочных схем кузова автомобиля для соревнований «Eco-marathon»

Результаты исследования по базовым формам

На основе анализа серии двухмерных и трехмерных расчетов можно отметить следующее:

- отсутствует корреляция результатов в двухмерной и трехмерной постановке (рис. 2, 5);
- для симметричного тела (БФ-II) аэродинамическое сопротивление слабо зависит от экранного эффекта (рис. 5);
- существенное влияние на аэродинамическое сопротивление тела оказывают обтекатели колес (рис. 7).

Численные эксперименты по концептуальным моделям

Следующий этап проектирования заключался в создании концептуальных моделей автомобиля на основе полученных результатов по формообразующим телам и существующих аналогов и определении их аэродинамических характеристик.

Анализ конструкций автомобилей, принимавших участие в соревнованиях в разные годы, позволяет условно разделить их на четыре типа (рис. 8).

- I. Колесная формула «2+1»; все колеса находятся внутри кузова.
- II. Колесная формула «2+1»; передние колеса вынесены за пределы кузова, спрятаны в обтекателях, либо открыты.
- III. Колесная формула «1+2»; все колеса находятся внутри кузова.
- IV. Колесная формула «1+2»; переднее колесо расположено внутри кузова, задние колеса

вынесены за пределы, находятся в обтекателях, либо открыты.

Компоновочные решения, принимаемые конструктором к совершенствованию, определяются совокупностью факторов, в том числе экономическим обоснованием проекта, и не всегда являются наилучшими с точки зрения только аэродинамики.

Поиск рационального аэродинамического решения проводится на основе гипотезы о суперпозиции влияния таких основных факторов как: аэродинамическое сопротивление базового тела, минимизация вертикальной силы, минимизация воздействия боковой ветровой нагрузки, интерференция кузова и колесных обтекателей.

Минимизация сопротивления кузова приводит к базовой форме, напоминающей крыловой профиль.

Соотношение кривизн верхней и нижней частей в комбинации с экраным эффектом должно обеспечивать отсутствие прижимающей силы как фактора увеличения силы трения качения. Для этого нужно искать оптимальное сочетание двух факторов – формы и экранного эффекта дорожного полотна.

После процедуры поиска необходимо проверить полученную базовую форму на воздействие бокового ветра. Здесь существенную роль играет знание розы ветров местности и учет трехмерности обтекания.

Аэродинамические характеристики концептуальных моделей на основании численных экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1 Аэродинамические свойства
автомобилей

	I	II	III	IV
C _x	0,105	0,134	0,118	0,13

Выводы

На основании этих данных можно сделать следующие выводы:

I тип конструкции

Преимущества: низкое аэродинамическое сопротивление, хорошая компоновка для расположения человека, двигателя и др. элементов конструкции. Недостатки: сложная схема управления и привода на заднее колесо.

II тип конструкции

Преимущества: высокая устойчивость экомобиля с подобной компоновкой колес (2 +1). Недостатки: высокое аэродинамическое сопротивление из-за интерференции обтекателей передних колес и кузова экомобиля.

III тип конструкции

Преимущества: большой объем внутреннего пространства для расположения человека, двигателя и др. элементов конструкции. Недостатки: увеличенный мидель по сравнению с другими вариантами; высокое аэродинамическое сопротивление; низкая устойчивость экомобиля с подобной компоновкой колес (1 +2).

IV тип конструкции

Преимущества: хорошая компоновка для

размещения человека, двигателя и др. элементов конструкции; простая конструкция управления задними колесами.

Недостатки: увеличенное (по сравнению с 1-й схемой) аэродинамическое сопротивление; низкая устойчивость экомобиля с данной компоновкой колес (1+2).

Автор выражает благодарность профессору В.Г. Солодову за полезные обсуждения данной работы.

Литература

1. Katz Joseph Race Car Aerodynamics: Designing for Speed / Joseph Katz, 1995. – 224 p.
2. Santin J.J. The world's most fuel efficient vehicle: design and development of PAC-Car II / J.J. Santin, C.H. Onder, J. Bernard, D. Isler, 2007. – 326 p.
3. Авершин А.Г. Компьютерное моделирование аэродинамических характеристик гоночного автомобиля ХАДИ-31 / А.Г. Авершин, В.Г. Солодов // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2004. – Вып.16. – С. 228 – 231.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя/ Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
5. Солодов В.Г. Моделирование турбулентности. Расчет больших вихрей/ В.Г. Солодов. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 168 с.

Рецензент: В.Г. Солодов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 1 марта 2012 г.