

УДК 629.3.015.3

## АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАДИАТОРНОГО ОТСЕКА ГОНОЧНОГО АВТОМОБИЛЯ ХАДИ 33

А.Г. Авершин, ассистент, ХНАДУ

*Аннотация.* Численно исследуются аэродинамические характеристики радиаторного отсека гоночного автомобиля ХАДИ 33 на основе решения сопряженной задачи внутренней и внешней аэродинамики. Предложен рациональный вариант радиаторного отсека, который характеризуется высокой пропускной способностью и низким уровнем неравномерности поля скорости на входе.

*Ключевые слова:* гоночный автомобиль, радиаторный отсек, аэродинамические характеристики.

## АЕРОДИНАМІЧНЕ ВДОСКОНАЛЕННЯ РАДІАТОРНОГО ВІДСІКУ ПЕРЕГОНОВОГО АВТОМОБІЛЯ ХАДІ 33

А.Г. Авершин, асистент, ХНАДУ

*Анотація.* Чисельно досліджуються аеродинамічні характеристики радіаторного відсіку перегонного автомобіля ХАДІ 33 на основі рішення сполученого завдання внутрішньої і зовнішньої аеродинаміки. Запропоновано раціональне розміщення радіаторного відсіку.

*Ключові слова:* перегонний автомобіль, радіаторний відсік, аеродинамічні характеристики.

## AERODYNAMIC IMPROVEMENT OF KhADI 33 RACING CAR RADIATOR COMPARTMENT

A. Avershyn, assistant, KhNAHU

*Abstract.* Aerodynamic characteristics of radiator compartment of KhADI 33 racing car on the basis of the decision of the interfaced problem of internal and external aerodynamics are numerically investigated. The rational variant of radiator compartment which is characterized by high throughput and low level of non-uniformity of speed field at the input is offered.

*Key words:* racing car, radiator compartment, aerodynamic characteristics.

### Введение

При проектировании гоночного автомобиля большое внимание уделяется вопросам внешней и внутренней аэродинамики. Так, если внешняя аэродинамика важна для создания прижимающей силы и снижения сопротивления, то внутреннее течение обеспечивает эффективное охлаждение агрегатов автомобиля (радиатор, двигатель тормоза и др.) и эффекты, связанные с отводом охлаждающего воздуха. Обтекание внешней поверхности автомобиля тесно связано с потоками внутри кузова [3, 4]. Например, течение в боковых

понтонках зависит от расположения входа в понтон, в свою очередь течение в задней части автомобиля (диффузор, заднее антикрыло) зависит от характера течения в боковом воздухозаборнике (понтоне).

### Анализ публикаций

Задачи аэродинамического совершенствования системы охлаждения и ее взаимодействия с внешней аэродинамикой кузова рассматриваются в [1, 2]. В частности, в [1] описываются вопросы решения совместной аэродинамической задачи проектирования

внешней формы гоночного автомобиля OPEL ECO-Speedster, и особое внимание уделяется выбору места расположения воздухозаборника радиатора. Работа [2] представляет решение проблемы аэродинамического совершенствования системы охлаждения автомобиля в целом. Настоящая работа посвящена аэродинамическому совершенствованию радиаторного отсека гоночного автомобиля ХАДИ 33.

**Цель и постановка задачи**

В качестве модели выбран гоночный автомобиль ХАДИ 33 класса E-8. Его основные геометрические размеры: длина  $l = 3950$  мм, высота кокпита  $h = 860$  мм, ширина  $w = 1300$  мм. Кузов автомобиля снабжен воздухозаборниками с поперечным сечением входа  $0,052 \text{ м}^2$ . Кузов обладает обтекаемым днищем, образующим диффузорный канал совместно с горизонтальной поверхностью дорожного полотна [6, 7].

При разработке новых решений по натурному образцу автомобиля создана твердотельная модель кузова с колесами, антикрыльями и головой пилота рис.1. Твердотельная модель погружена в расчетную область с размерами  $L \times H \times W = 10l \times 5l \times 5l$  рис. 1.

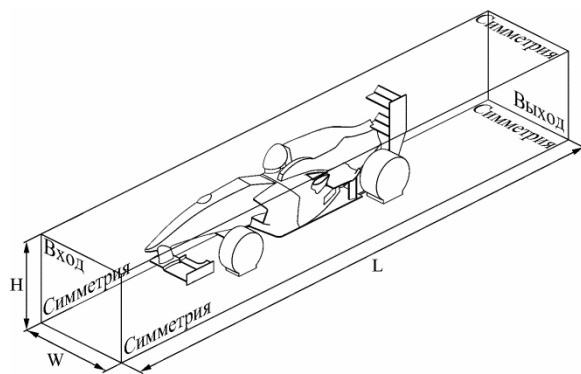


Рис. 1. Схема расчетной области обтекания гоночного автомобиля

Расчетная область построена по принципу аэродинамической трубы рис. 1. Вне расчетной области предполагалось невозмущенное течение. Для создания сетки в расчетной области при построении полной модели автомобиля использовались следующие упрощения: колеса считались неподвижными; не учитывались элементы трубчатой подвески колес; рассчитывались аэродинамические

характеристики обтекания симметричной половины гоночного автомобиля.

Численное моделирование стационарного обтекания выполнено с помощью программного комплекса *MTFS*<sup>®</sup>. Расчетная область описывалась гексаэдральной сеткой мощностью около 8 млн. узлов со сгущениями вблизи твердых поверхностей для описания пограничного слоя. Интегрирование полных осредненных уравнений Навье-Стокса осуществлялось разностной схемой 3-го порядка точности на основе *TVD* аппроксимации при замыкании  $k - \epsilon$  моделью турбулентности в формулировке Лаундера. Для описания вязких эффектов в пограничном слое использовались пристенные функции, при этом минимальное значение переменной погранслоя соответствует  $Y^+ = 4,5$  [5].

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, составляла  $V_\infty = 180$  км/ч и совпадала со скоростью дорожного полотна;  $P_\infty$  – стандартное атмосферное давление.

Для решения сопряженной задачи внешней и внутренней аэродинамики в расчетную область задачи о внешнем обтекании (которая описана выше) добавлена подобласть внутреннего канала бокового понтона совместно с радиатором.

Технические характеристики радиатора: тип – 1111-1301010, габариты – 420×310×60 мм, вес 28,5 Н. В подобласти радиатора использована модель пористой среды, подчиняющейся обобщенному закону Дарси

$$\frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\mu}{K_{perm}} U_i + K_{loss} \frac{\rho}{2} |U| U_i,$$

где  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости;  $K_{perm}$  – коэффициент проницаемости;  $K_{loss}$  – эмпирический коэффициент потерь кинетической энергии.

Потери механической энергии моделировались по направлению вдоль оси  $x$  рис. 2. Все

потери энергии во внутренней подобласти при обтекании двигателя и агрегатов приведены к потерям на радиаторе.

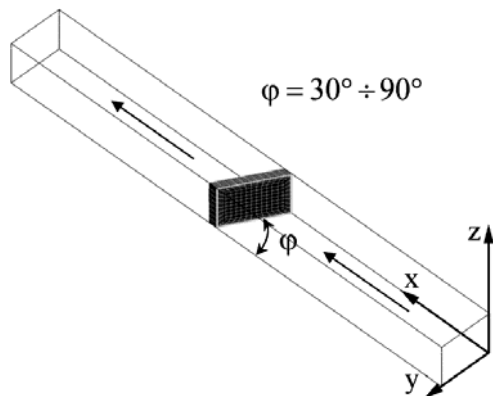


Рис. 2. Схема модельной внутренней задачи

Коэффициент потерь  $K_{loss} = 20$  подбирался из условия перепада давлений  $\Delta P = 0,5$  [8] по серии расчетов модельной внутренней задачи течения через радиатор. Корреляция перепада статического давления и коэффициента потерь механической энергии дана на рис. 3.

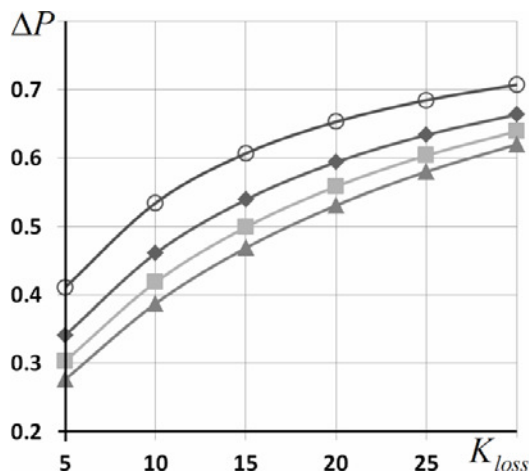


Рис. 3. Зависимость перепада давления от коэффициента потерь от перепада давления:  $\circ$  —  $\varphi = 30^\circ$ ;  $\blacklozenge$  —  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\blacksquare$  —  $\varphi = 60^\circ$ ;  $\blacktriangle$  —  $\varphi = 90^\circ$ ;  $\Delta P = (P_{in} - P_{out}) / P_{in}$

### Сопоставление результатов численного моделирования

Численное моделирование внешнего и внутреннего обтекания гоночного автомобиля ХАДИ 33 (рис. 4) выявило преимущества и недостатки по сравнению с гоночным автомобилем ХАДИ 31 [6, 7].

Таблица 1 Аэродинамические характеристики

Модель	ХАДИ 31	ХАДИ 33
$C_x$	0,984799	0,83696
$C_y$	-0,62136	-0,86398
Расход $m^3/c$ ,	0,990358	0,789286

Из табл. 1 видно, что для автомобиля ХАДИ 33 удалось снизить аэродинамическое сопротивление и одновременно увеличить прижимающую силу. Однако недостатком данной конструкции является малый расход воздуха через радиатор.

В результате анализа течения через радиаторный отсек гоночного автомобиля ХАДИ 33 удалось выявить основные причины, оказывающие негативное воздействие на внутреннюю аэродинамику радиаторного отсека. Такими причинами явились: общая конфигурация канала (отношение площади входа к площади выхода  $A_{вх} / A_{вых} = 4/3$ ), а так же резкое раскрытие диффузора во входной части канала (перед радиатором), обусловленное конструктивными особенностями компоновки гоночного автомобиля.

На рис. 5 представлены эпюры скоростей в радиаторном отсеке. Эпюры показывают застойную зону в нижней части радиаторного отсека, что негативно отражается на конвективном теплообмене в радиаторном отсеке и снижает отвод тепла от радиатора, приводит к перегреву и тепловым деформациям отдельных частей радиатора.

Для совершенствования аэродинамических и теплообменных характеристик радиаторного отсека были предложены следующие направления: увеличение площади выходных отверстий с учетом их расположения, рациональный поиск положения входного отверстия (воздухозаборника) радиаторного отсека.

### Совершенствование выходных отверстий отсека радиатора

На первом этапе было проведено исследование по увеличению площади выходных отверстий с учетом их расположения с целью увеличения расхода воздуха.

Совершенствование выходных отверстий отсека радиатора проходило в следующих направлениях: I — базовая модель с верхним выходным отверстием рис. 1 (а), II — базовая

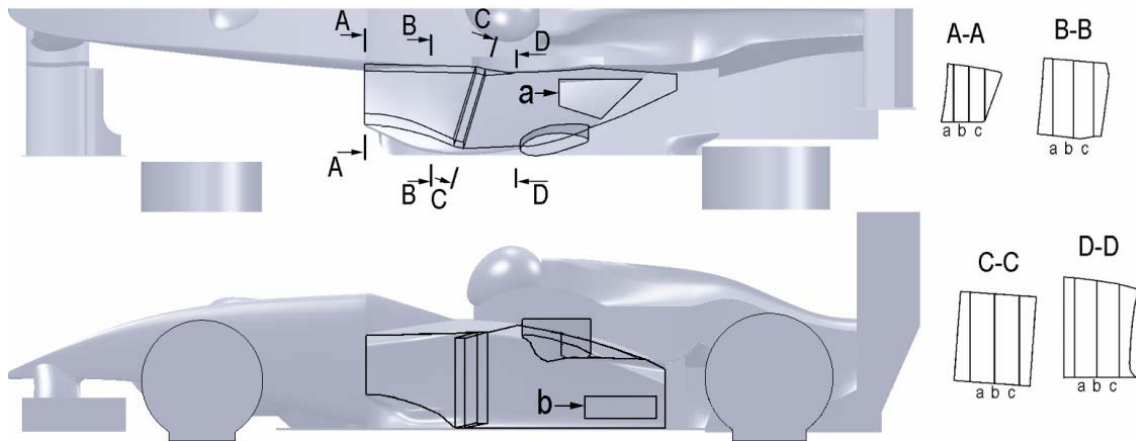


Рис. 4. Варианты модификаций выходных отверстий и контрольных сечений радиаторного отсека

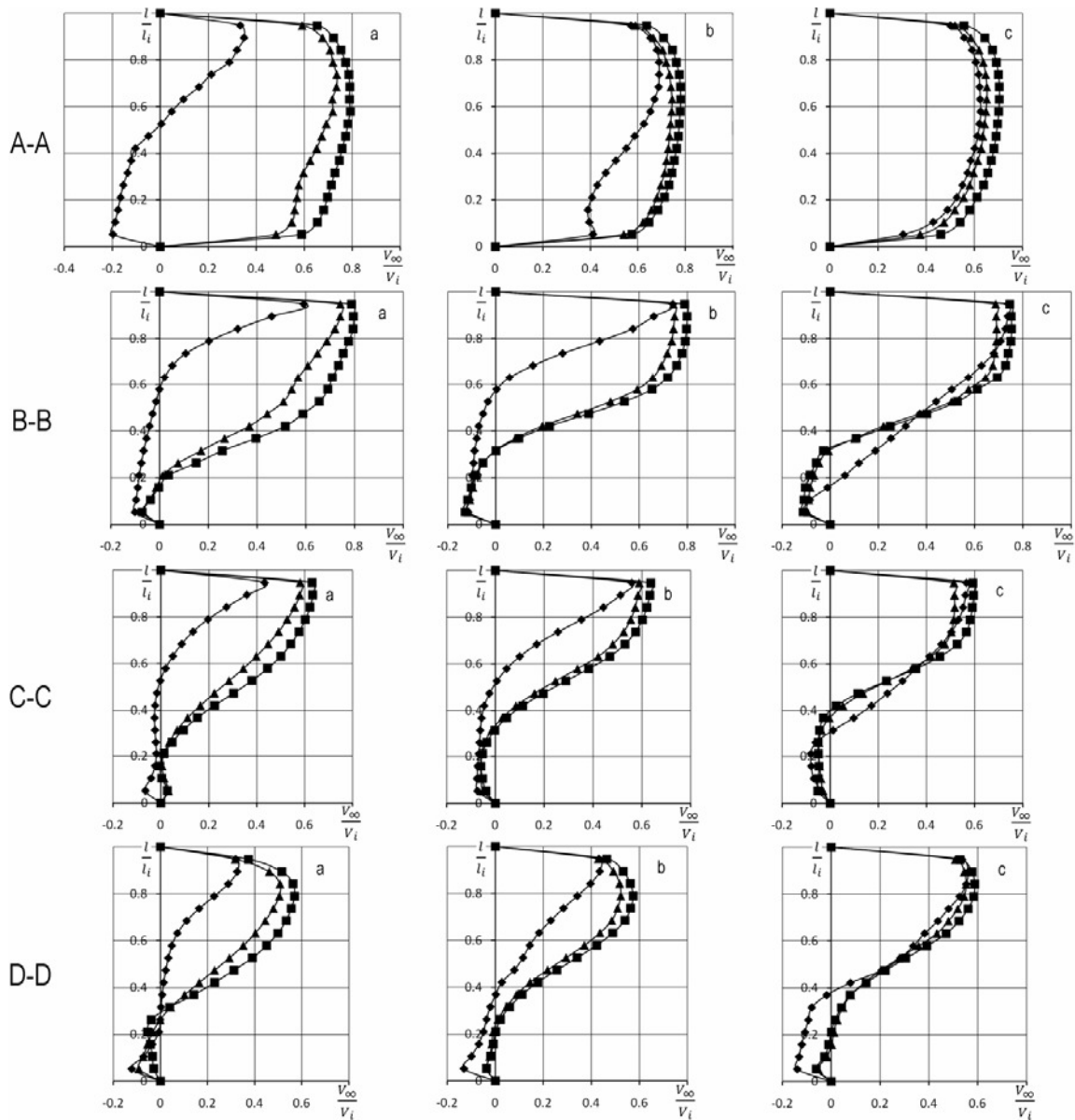


Рис. 5. Эюры скоростей в контрольных сечениях радиаторного отсека:  $\blacklozenge$  – вариант I;  $\blacktriangle$  – вариант II;  $\blacksquare$  – вариант III

модель с боковым выходным отверстием рис. 1 (b), III – базовая модель с верхним и боковым отверстием рис. 4 (a, b), Результаты численного исследования вариантов радиаторного отсека представлены на (рис. 5, 6) и табл. 2.

Таблица 2 Результаты численного моделирования выходных отверстий отсека радиатора

Модификации	I	II	III
$F_x$	-734,8	-774,8	-767,1
$F_y$	-758,5	-747,7	-775,3
$K_{\text{nonuniformity}}$	3,43	3,22	3,23

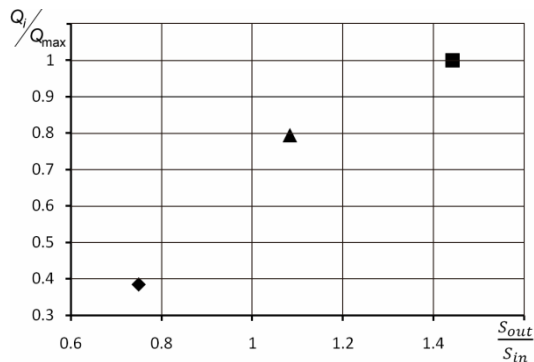


Рис. 6. Зависимость расхода воздуха от отношения площадей входных и выходных отверстий: ◆ – вариант I; ▲ – вариант II; ■ – вариант III

Здесь  $K_{\text{nonuniformity}} = \frac{(V_{\text{max}} - V_{\text{min}})}{V_{\text{cp}}}$  – коэффициент неравномерности обдува радиатора;  $V_{\text{cp}} = Q/A$  – среднерасходная скорость по сечению полной площади  $A$  поперечного сечения канала;  $Q$  – объемный расход воздуха;  $V_{\text{max}}$  – избыточная скорость, вычисляемая для областей с общей площадью  $A_1$ , где нормальная составляющая скорости больше  $V_{\text{cp}}$ ;  $A_2 = A - A_1$ ;  $V_{\text{max}}$  – дефектная скорость, вычисляемая для областей с общей площадью  $A_2$ , где  $V_n \leq V_{\text{cp}}$  (в сечении «С–С» на рис. 5)

$$V_{\text{max}} = \int_{A_1} V V_n dA / \int_{A_1} V_n dA,$$

$$V_{\text{min}} = \int_{A_2} V V_n dA / \int_{A_2} V_n dA.$$

### Выбор модификации с наилучшей расходной характеристикой

По результатам проведенных численных исследований было определено, что наибольшим расходом, при минимальном коэффициенте неравномерности расходной составляющей скорости  $K_{\text{nonuniformity}}$  в сечении радиатора обладает модификация I. На это указывают интегральные характеристики расхода (рис. 6), и анализ наполненности эпюр скоростей на поверхности радиатора (рис. 5 С–С), а так же в других контрольных сечениях.

### Совершенствование входного сечения воздухозаборника

Второй этап исследований заключается в поиске наилучшего расположения входного сечения воздухозаборника в рамках ограничений по компоновке и интерференции элементов внешней компоновки. Для этого за основу был взят вариант модификации радиаторного отсека III. Для данной модификации была проведена серия расчетов с различным расположением входного сечения в воздухозаборник по высоте (рис. 7).

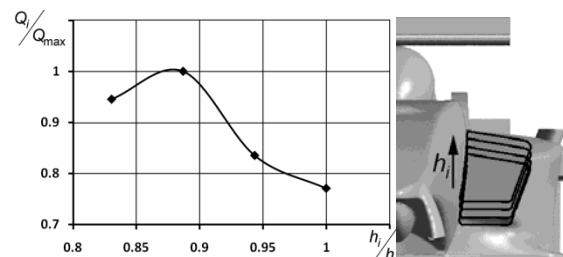


Рис. 7. Зависимость расхода воздуха через радиатор от расположения входного сечения по высоте воздухозаборника

Таблица 3 Результаты численного моделирования входного сечения воздухозаборника

$h_i / h$	0,83	0,88	0,94	1
$K_{\text{nonuniformity}}$	3,04	3,23	3,26	3,02

Результаты расчетов (рис. 7) указывают на то, что с точки зрения расхода наилучшее значение дает положение воздухозаборника при  $h_i / h = 0,88$ , однако при этом  $K_{\text{nonuniformity}}$  табл. 3 принимает наименьшее значение при  $h_i / h = 0,83$ .

### Выводы

Решена совместная задача внутреннего и внешнего обтекания гоночного автомобиля ХАДИ 33. Выполнено исследование по совершенствованию выходных отверстий воздухозаборника, проведен поиск наилучшего положения входного сечения воздухозаборника, получены зависимости перепада давления от коэффициента потерь от перепада давления.

Автор благодарен профессору В.Г. Солодову за внимание к работе.

### Литература

1. Kleber A. CFD as Integrated Part of the Aerodynamic Development of the OPEL ECO-Speedster / A. Kleber // European Automotive CFD Conference (EACC): Bingen, Germany, 25 – 27 June 2003. – P. 27–36.
2. Jonson A. Volvo Car corporation, Sweden. On the thermodynamic development of the New Volvo XC 90 using FLUENT / A. Jonson // European Automotive CFD Conference (EACC): Bingen, Germany, 25–27 June 2003. – P. 37–50.
3. Katz J. Race Car Aerodynamics: Designing for Speed / J. Katz, 1995. – 223 p.
4. Аэродинамика автомобиля / под ред. В.Г. Гухо. – М.: Машиностроение, 1987. – 420 с.
5. Краснов Н.Ф. Основы прикладной аэродинамики / Н.Ф. Краснов, Е.Э. Боровский, А.И. Хлупнов. В 2 кн. кн.1. – М.: Высшая школа, 1990. – 336 с.
6. Компьютерное моделирование аэродинамических характеристик гоночного автомобиля ХАДИ-31 / А.Г. Авершин, В.Г. Солодов // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2005. – Вып. 16. – С. 228–231.
7. Аэродинамическое совершенствование заднего диффузора гоночного автомобиля формулы 1600 / А.Г. Авершин, Ю.В. Стародубцев // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2005. – Вып. 17. – С. 21–25.
8. Алюминиевые радиаторы автотракторных двигателей / В.В. Бурков. – М.: Машиностроение, 1964. – 200 с.

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

Статья поступила в редакцию 4 августа 2011 г.