

АЭРОДИНАМИКА БОЛИДОВ ФОРМУЛЫ-1

М.Д. Стукало, студент, ХНАДУ

Аннотация. Показан основополагающий принцип аэродинамики крыла и антикрыла. Проведен анализ существующих элементов обтекателей современных болидов Формулы-1. Определены пути оптимизации аэродинамики автомобиля ХАДИ-33.

Ключевые слова: аэродинамика, антикрыло, обтекатель, диффузор, эжектор.

Введение

С годами значительно увеличились скоростные характеристики болидов F1, возросла скорость прохождения поворотов, и весьма очевидно, что это заслуга аэродинамики. В начале 60-х годов Формула-1 еще не использовала антикрылья, однако уже в 1968 году команды F1 начали экспериментировать с «неуклюжими» и «необработанными» аэродинамическими конструкциями, чтобы получить эффект прижатия шасси к трассе. Первые три вида таких конструкций были очень простыми и ненадежными, поэтому достаточно часто разрушались в процессе гонки. На протяжении чуть более 30 лет аэродинамика F1 постоянно претерпевает изменения, и, очевидно, это самая важная характеристика болида. Принцип осуществления функций антикрыльев в F1 легко сопоставим с технологиями в самолетостроении. Но в то время как крылья самолетов способствуют взлету и планированию по воздуху, в F1 антикрылья выполняют противоположную функцию – формируют прижимную силу.

Анализ публикаций

Методы расчета и технологические решения вопросов аэродинамики современных болидов мировых производителей держатся ими в строжайшем секрете. Поэтому подобные публикации имеют ознакомительный характер, без глубоких выкладок о физике процессов, происходящих с элементами обтекателя. Однако с принципами аэродинамики можно ознакомиться в [1].

Цель и постановка задачи

В отечественном автоспорте аэродинамика развита довольно слабо. В основном команды пользуются зарубежными образцами аэропакетов для своих автомобилей. Инженерами «ЛСА ХАДИ» произведено проектирование и изготовление собственного варианта обтекателя для формулы класса 1600. Но для этого был выполнен ряд измерений на болиде ХАДИ-31, а также обработано множество разработок прошлых лет зарубежных производителей.

Общие положения аэродинамики F-1. Эффект Бернулли

Эффект Бернулли играет огромную роль в работе аэродинамических поверхностей болидов F1. Эффект Бернулли выражается уравнением, известным как «Уравнение Бернулли», которое утверждает, что общая энергия данного объема вещества не изменяется; и это опирается на принцип консервативности энергии. Когда мы рассматриваем относительное движение, то энергия делится на три части:

- 1) давление в воздухе;
- 2) кинетическая энергия воздуха (энергия движения);
- 3) потенциальная энергия воздуха.

И уравнение в таком случае имеет вид

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho g h = \text{const},$$

где P – давление; ρ – плотность; V – скорость воздуха; g – ускорение силы тяжести; h – высота относительно определенного уровня.

Крылья и антикрылья. Общие положения

Рассмотрим аэродинамическую конструкцию "простого" крыла самолета. Крыло рассекает воздух и образует две мнимые части воздушного пространства, точнее, два различных воздушных потока. Один из потоков перемещается по поверхности под крылом, другой – над. Из-за конструкции крыла частицы верхнего воздушного потока двигаются «поотдаль» от крыла, прямо противоположная ситуация с нижним потоком. Это и вызывает эффект того, что верхний поток значительно быстрее нижнего. По закону Бернулли под крылом оказывается большее давление, чем над крылом, что и способствует появлению так называемой подъемной силы (рис. 1).

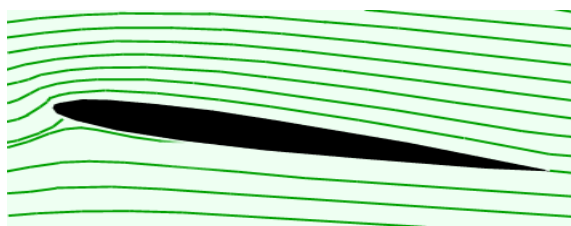


Рис. 1. Крыло

Обратная ситуация с антикрыльями. Антикрылья функционируют абсолютно по тому же принципу, но обеспечивают эффект «прижатия» к трассе, происходит это за счет формы (рис. 2). То есть достаточно просто повернуть обычное крыло передней частью вниз.

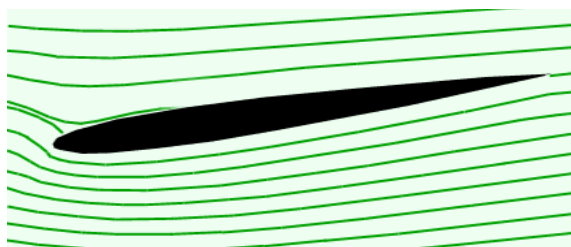


Рис. 2. Антикрыло

Прижимная сила и сила сопротивления

Это как раз те две силы, которым посвящена практически вся аэродинамическая конструкция болида F1. Конструкции антикрыльев и самого болида должны быть оптимальны, то есть обеспечение прижимной силы должно быть реализовано так, чтобы это не вызывало силы сопротивления воздуха, да и сам болид обязан быть наиболее приспособлен к преодолению этой самой силы. Для вычисления силы сопротивления используется следующая формула

$$F = \frac{c_x \rho V^2 S}{2},$$

где F – сила аэродинамического сопротивления; c_x – коэффициент аэросопротивления; V – скорость объекта; S – лобовая площадь; ρ – плотность воздуха.

Приведенная ниже табл. 1 показывает значение коэффициента c_x в зависимости от поверхности объекта.

Таблица 1 Значение коэффициента c_x в зависимости от поверхности объекта

Форма объекта	Изображение	Коэффициент аэродинамического сопротивления
Сфера		0,47
Полусфера		0,42
Конус		0,5
Куб		1,05
Поверн. куб		0,8
Длинный цилиндр		0,82
Короткий цилиндр		1,15
Обтекаемый объект		0,04
Половина обтекаемого объекта		0,09

Передние антикрылья

Передние антикрылья на болиде обеспечивают около 25 % всей прижимной силы, но эта цифра может быть снижена до 10 % в то время, когда болид находится за другим примерно на расстоянии 20 м. Появляется эффект

«засасывания» сзади идущей машины в переднюю, известный как слипстрим. И когда болиды оказываются на повороте, сзади идущий не может повернуть на развитой скорости из-за потери прижимной силы, таким образом пилоту приходится сбрасывать скорость, чтобы безопасно пройти поворот. Переднее антикрыло, ширина которого соответствует ширине самого болида, прикрепляется к носовому обтекателю при помощи пилонов. На этой аэродинамической поверхности крепятся два элерона, каждый из которых является регулируемой частью антикрыла. Как правило, эти закрылки делаются из цельного куска карбона. На окончаниях антикрыла (слева и справа) крепятся специальные боковые пластины для обеспечения прохождения потока воздуха сверху и снизу относительно поверхности антикрыла, не огибая его. Конструкция элерона такова, что он является ассиметричным самому себе относительно центральной разделяющей воображаемой линии (если смотреть на болид спереди): чем ближе к носовому обтекателю элерон, тем меньше его ширина (рис. 3).



Рис. 3. Элероны переднего антикрыла

Такая особенность элерона позволяет проникать в радиатор большому количеству воздуха, а также пропускать воздушный поток по «днищу» болида, который затем попадает в диффузор, обеспечивая прижимную силу. В случае, если элероны не имеют такого сужения, охлаждение радиатором значительно уменьшается и температура двигателя значительно возрастает. Также важно, что чем ниже будет расположено переднее антикрыло, тем лучше это влияет на проникновение воздушного потока в радиатор и диффузор, однако имеется критическое положение, при котором антикрыло начнет задевать трассу. Правилами FIA установлено, что минимальное расстояние между трассой и передним антикрылом должно быть 40 мм.

Задние антикрылья

Поток воздуха попадает в заднее антикрыло, состоящее из множества закрылков, вызывая определенные реакции со стороны антикрыла (рис. 4).



Рис. 4. Поток воздуха на заднем антикрыле

Примерно треть всей прижимной силы обеспечивает заднее антикрыло болида. Это приспособление может создавать более 1000 Н прижимной силы и весит около 7 кг. Ввиду того, что заднее антикрыло вызывает наибольшее сопротивление в болиде, команды видоизменяют конструкцию антикрыльев для каждой трассы. Заднее антикрыло сделано из двух наборов аэродинамических поверхностей, соединенных между собой и прикрепляемых к пластинам 3 заднего антикрыла. Верхний набор таких пластин 1 обеспечивает наибольшую прижимную силу и является, как правило, наиболее видоизменяющимся от трассы к трассе. В большинстве случаев этот верхний набор состоит из 3 элементов. Нижний же набор 2 обычно состоит из двух элементов (рис. 5).



Рис. 5. Конструкция заднего антикрыла

Диффузор

Самой маленькой аэродинамической деталью болида является диффузор. Принцип действия диффузора противоположен принципу действия антикрыла: вместо того, чтобы отталкивать воздух, диффузор засасывает его. Эффект этот получается из-за аэродинамической формы. Диффузор находится в самой нижней, «хвостовой» части автомобиля под

задним антикрылом. Объем диффузора увеличивается по мере приближения его к задней части болида (рис. 6).



Рис. 6. Диффузор

Воздух, попадающий в диффузор из-под днища болида, становится разреженным за счет увеличения его в объеме, отсюда и эффект засасывания. Диффузор состоит из большого количества «тонельчиков» и «разделителей», которые аккуратно и точно контролируют потоки воздуха для лучшего засасывания. Так как диффузор находится в зоне выхлопных газов, это накладывает жесткие требования на его конструкцию, в противном случае (при некорректном создании и регулировках диффузора) при изменении скорости выхлопные газы будут влиять на аэродинамический баланс автомобиля.

Боковые дефлекторы



Рис. 7. Боковой дефлектор

Это приспособление было впервые применено в 1993 году. Без боковых дефлекторов набегающий поток воздуха будет идти прямо, и, соответственно, давить на заднюю стенку воздухозаборника, создавая лобовое сопротивление. Дефлектор же (если рассмотреть для примера левый относительно гонщика воздухозаборник) закручивает поток против часовой стрелки (вид спереди), причем когда поток входит внутрь воздухозаборника, то он уже направлен внутрь болида, т.е. на охлаждаемую поверхность. Таким образом, с помощью боковых дефлекторов достигаются 2 цели: снижение лобового сопротивления и более эффективное охлаждение. Устанавли-

ваются они, как правило, между передними колесами и боковыми понтонами болида.

Создание обтекателя гоночного автомобиля ХАДИ-33

Проанализировав разработки специалистов в области аэродинамики гоночных машин и самостоятельно проводя измерения обтекаемости и прижимной силы отдельных элементов и в целом автомобиля ХАДИ-31, инженерами «ЛСА ХАДИ» были определены пути оптимизации аэродинамики нового болида Х-33: увеличение прижимной силы, уменьшение подъемной силы в задней части автомобиля и сопротивления воздуха, улучшение притока воздуха к радиаторам системы охлаждения двигателя, повышение эффективности заднего антикрыла и диффузора.

На новом автомобиле, в отличие от предшественника, передняя часть имеет меньший угол атаки, что позволяет увеличить зазор между носом и крылом. Это способствует увеличению эффективности последнего, т. к. начинает работать его центральная часть. Данная модернизация очень актуальна, так как возросшая мощность двигателя и, соответственно, скорость требуют лучшего сцеп-



Рис. 8. Внешний вид ХАДИ-35

ления с дорогой. При сравнительно небольшой массе болида его аэродинамика играет чуть ли не первостепенную роль в задаче удержания автомобиля на трекке и уверенного управления им. Учитывая, что заднеприводный автомобиль характеризуется избыточной поворачиваемостью, в процессе проектирования обтекателя было уделено внимание прижимающей силе, приходящейся на заднюю ось. Для этого был рассчитан и изготовлен диффузор с улучшенными параметрами. Он развивает большее разрежение под днищем по сравнению с ХАДИ-31, что обеспечивает лучшее сцепление ведущих ко-

лес с дорогой. В задней части обтекателя за радиаторами охлаждения установлены закрывки, способствующие оптимизации потока после понтонов, что стабилизирует давление и уменьшает сопротивление воздуха (рис. 9).



Рис. 9. Закрывки и эжекторы

На ХАДИ-31 капот (задняя часть обтекателя, закрывающая силовой агрегат) сверху имеет плоскую грань, плавно нисходящую к заднему антикрылу. При движении автомобиля над этой площадкой образовывается зона пониженного давления, следовательно, подъемная сила. Для этого на ХАДИ-33 капот вместо площадки имеет тонкое ребро, плавно опускающееся к антикрылу, и нижние закрывки. Это предупреждает возникновение больших зон пониженного давления и улучшает общий коэффициент аэродинамического сопротивления нового автомобиля. Профиль ребра создан таким образом, чтобы свести к минимуму парусность, т. е. подверженность к уводу автомобиля с траектории под действием бокового ветра, что имеет большое значение при прохождении скоростных поворотов (рис. 10).



Рис. 10. Задняя часть обтекателя ХАДИ-33

Проведя измерения потоков воздуха, проходящих через воздухозаборник к радиатору и

далее после него, было определено, что поток неравномерен в понтоне (часть обтекателя, в которой установлены радиаторы системы охлаждения двигателя), и в некоторых местах движение воздуха вообще отсутствует. При создании нового обтекателя эти проблемы были решены следующим образом. В понтоны установили так называемые «дымоходы», либо эжекторы, которые усиливают отток воздуха из понтонов, уменьшают сопротивление и увеличивают скорость прохождения воздуха, тем самым повышая эффективность теплообменника.

Выводы

За столетнюю историю автомобилестроения вопросы аэродинамики в данной области не были раскрыты в достаточной мере. Значительного успеха в этом вопросе помог достичь автоспорт, в котором очень важными стали прижимная сила и обтекаемость. Выше описанные решения стали применять в серийных автомобилях, чтобы оптимизировать их эксплуатационные свойства, что способствовало повышению экономичности. В исследовании аэродинамики автомобилей активное участие принимает «ЛСА ХАДИ».

Выше описанные работы с обтекателем ХАДИ-33 позволили существенно улучшить характеристики нового автомобиля, что дало возможность составить достойную конкуренцию украинским спортивным командам на гоночной трассе.

Литература

1. Аэродинамика автомобиля / Под ред. В.Г. Гухо; Пер. с нем. Н.А. Юниковой; Под ред. С.П. Загородникова. – М.: Машиностроение, 1987. – 424 с.
2. Краснов Н.Ф. Аэродинамика. Ч.1. Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла. – М.: Высшая школа, 1976.

Рецензент: В.И. Клименко, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2008 г.