

сокие антифрикционные свойства образующихся поверхностей дают возможность значительно снизить энергозатраты, повысить КПД машин и механизмов.

Выводы

- Использование ГМТ в качестве составов для восстановления изношенных узлов трения, без остановки действующего оборудования, позволяют существенно сократить затраты, связанные с ремонтом машин и оборудования, снизить энергопотребление, увеличить жизненный цикл машин и механизмов.
- Вследствие образования специфических поверхностных структур приработанные узлы трения обладают повышенной маслоудерживающей способностью, износостойкостью, нагрузочной способностью и низким коэффициентом трения.

Список литературы

1. Дидык Р.П. Новая технология восстановления узлов трения и модифицирования поверхностей деталей машин // Сб. научн. тр. – Киев: / ЧСМ НАН Украины, 2003. – С. 23-27.
2. Патент № 56546 Украина Способ получения наполнителя для антифрикционной смазки / Дидык Р.П., Завалий А.Б. – Бюл. № 5. – 2003.
3. Патент № 51394 Украина Способ упрочняющей чистовой обработки деталей машин / Р.П. Дидык, Д.В. Лоскутов и др. – Бюл. №11. – 2002.
4. Бабей Ю.И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – К.: Наукова думка, 1988. – 240 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.
Надійшла до редакції 30.09.10*

УДК 004.942

© Б.А. Фостенко, О.В. Алексенко

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБТЕКАНИЯ АВТОМОБИЛЯ СРЕДСТВАМИ SOLIDWORKS

В работе рассматривается процесс обтекания различных вариантов конструктивного исполнения кузова автомобиля с применением средств САЕ-модуля COSMOSFloWorks, интегрированного в среду проектирования SolidWorks.

В роботі наведено результати дослідження характеристик обтікання різних варіантів конструкції кузову автомобілю з використанням засобів САЕ-модулю COSMOSFloWorks, інтегрованого в середовище проектування SolidWorks

The article contains the results of flowing process simulation around of different variants of car basket with the use of COSMOSFloWorks facilities , computer-integrated into SolidWorks.

Современный этап развития математических методов и компьютерных средств позволяет использовать результаты численных экспериментов для анализа эффективности предлагаемой конструкции проектируемых объектов. По данным моделирования выбирают варианты конструктивного исполнения технического объекта, а далее характеристики лучшего варианта проверяются в

ходе реального физического эксперимента. Таким образом, сокращается время и материальные затраты на разработку технических объектов и ускоряется их внедрение в эксплуатацию.

Сложность изучаемых объектов и процессов обуславливает необходимость использования мощных CAE-модулей, математические модели которых проверены на адекватность моделируемым явлениям. На сегодня для моделирования аэродинамических процессов в Украине широко применяются CAE-программы ANSYS CFX, FlowVision и COSMOSFloWorks. Нужно отметить, что для удобства процесса создания изделия программные продукты, используемые в численном эксперименте, должны интегрироваться с инструментами проектирования для формирования геометрической модели, иметь инструменты обработки полученных характеристик, визуального представления результатов и генерации отчетной документации. Развитие средств разработки изделий промышленности идет в направлении слияния CAD и CAE-систем [1]. Программы ANSYS CFX и FlowVision ориентированы в первую очередь на специалиста в инженерных расчетах, а не на обычного инженера-проектировщика. Эти программы используют импортированные из внешних источников геометрические модели, что усложняет их применение в стандартном процессе проектирования. Высокая степень интеграции гидрогазодинамического решателя COSMOSFloWorks в среду SolidWorks по сравнению с другими конкурентами [1], ускоряет процесс разработки и повышает его качество.

В основу математической модели модуля COSMOSFloWorks заложены нестационарные уравнения Навье-Стокса, для решения которых используется метод конечных объемов, общепринятый как стандартный метод анализа благодаря его универсальности и удобству компьютерной реализации. COSMOSFloWorks основывается на последних достижениях вычислительной газо- и гидродинамики и позволяет исследовать широкий круг течений [2]. В качестве геометрической модели используется модель, созданная в системе SolidWorks.

Данная работа рассматривает использование COSMOSFloWorks для изучения аэродинамических характеристик различных конструкций обтекателей спортивного автомобиля Nissan 200SX, который зарекомендовал себя среди автолюбителей низкими показателями сопротивления воздуха, высоким коэффициентом обтекания и красотой продуманных форм. Исследование отрывных течений с помощью гидрогазодинамического решателя COSMOSFloWorks показало возможность его использования для подобного типа задач [3]. Чтобы провести исследование необходимо создать геометрическую модель рассматриваемого автомобиля с вариациями обтекателей, задать граничные условия численного эксперимента, провести расчет аэродинамических характеристик и проанализировать полученные результаты.

Целью проектирования автомобиля, как и любого другого технического объекта, является получение востребованного рынком продукта. Одной из задач, которые при этом необходимо решить разработчикам, является задача получения оптимальной формы. Форма автомобиля должна создать у покупателя четкий образ, подчеркивать его достоинства. В то же время конструктивные

формы машины должны соответствовать требованиям комфорта, безопасности движения, а значит устойчивости, и экономичности эксплуатации. Одной из характеристик, влияющих на устойчивость, показатели шума, экономичность автомобиля, является аэродинамика обтекания его воздушным потоком [4]. Создание конструкции автомобиля с низким коэффициентом сопротивления является одной из важных задач в процессе его проектирования. В ходе анализа изучались особенности обтекания корпуса автомобиля воздухом в зависимости от установленных на нем обтекателей (спойлер, скругление и изменение формы кузова), то есть тех условий, которые непосредственно влияют на скорость, маневренность, безопасность управления и характеристики аэродинамики.

В процессе создания геометрической модели автомобиля возникли определенные сложности. Стандартный способ создания трехмерной модели объекта сложной формы методом плоскостей (отрисовка граней без создания профилей деталей) не подошел, так как модуль COSMOSFloWorks работает только с объектами, имеющими объем. Поэтому готовые модели из сети Internet, созданные по плоскостям в SolidWorks или 3D Max, оказались непригодными для проведения аэродинамического анализа из-за отсутствия толщины.

Хотя SolidWorks позволяет импортировать геометрию, созданную в других пакетах, было решено непосредственно построить геометрическую модель в данном пакете твердотельного моделирования.

Твердотельная модель была получена путем выдавливания плоского замкнутого профиля, снятого с образца автомобиля в масштабе 1:1, с упрощением конструкции для уменьшения времени на прорисовку деталей и сокращения требуемых вычислительных ресурсов. В ходе анализа геометрия изменялась для моделирования обтекателей – были добавлены скругленные грани для моделирования переднего и заднего обтекателей, построен спойлер, была изменена конструкция крыши автомобиля. На рисунке 1 представлена модель для проведения аэродинамических расчетов.

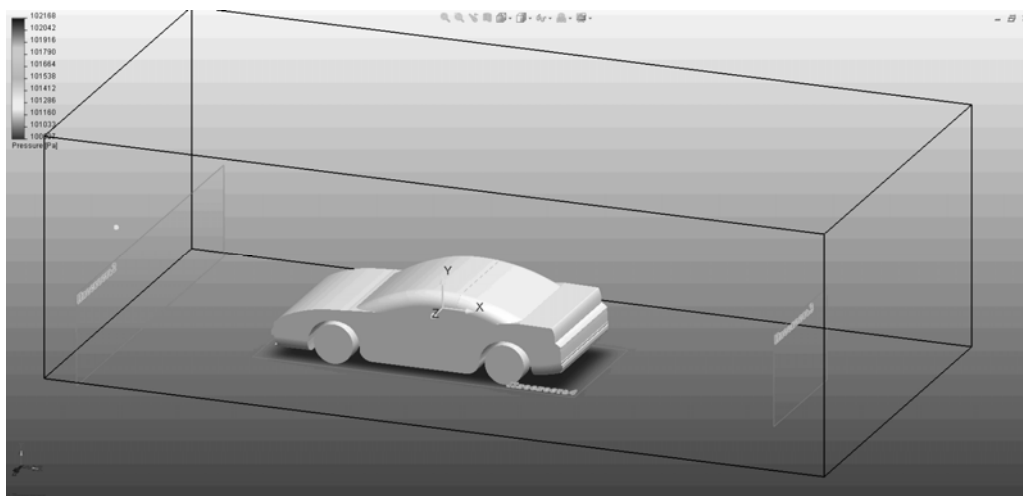


Рис.1. Геометрическая модель и расчетная область

В качестве исходных данных для проведения расчета аэродинамических характеристик были выбраны следующие значения: среда – воздух, температура окружающей среды $T=20,05^{\circ}\text{C}$, атмосферное давление воздуха $P=101325$ Па, скорость движения автомобиля по горизонтальной поверхности (скорость обтекания воздухом) $V=40$ м/с (144 км/час). Скорость автомобиля выбрана не случайно, так как при скоростях выше 120 км/час становятся хорошо заметны недостатки формы и их влияние на аэродинамику обтекания.

В первую очередь был определен объем расчетной области проекта (рис. 1), который представляет собой параллелепипед со сторонами 12 м x 3,785 м x 6 м, то есть условный объем среды, в которой будет проводиться расчетный эксперимент равен $272,52$ м³. Такой минимальный объем был выбран с целью экономии вычислительных ресурсов, но он достаточен для отслеживания возмущений потока при обтекании модели в виртуальной аэродинамической трубе [5].

Так как для решения задачи внешнего обтекания тел в COSMOSFloWorks используется принцип обращения движения (тело неподвижно, а поток набегает на тело со скоростью равной по величине и противоположной по направлению скорости тела), поток, окружающий автомобиль и дорога должны иметь одинаковую скорость. В использованной версии COSMOSFloWorks 2008 года эти условия моделируются с помощью подвижной стенки. Роль граничного условия (стенки) выполняет поверхность (Real Wall), на которой находится автомобиль. По заданным условиям она имеет шероховатость 1000 мкм и движется со скоростью, равной скорости автомобиля, но противоположной по направлению.

В качестве характеристики обтекания рассматриваем изменение значений давления на выбранных поверхностях кузова. Большой градиент давления воздуха на участках кузова создает дополнительные завихрения и отрывы потока, что негативно сказывается на аэродинамике.

Для определения влияния обтекателей на аэродинамические характеристики автомобиля сначала была рассмотрена «грубая» модель без обтекателей (рис. 2 а). На рисунке хорошо видны поверхности с большим градиентом давления. Это те места, где необходимы конструктивные изменения для уменьшения коэффициента сопротивления кузова автомобиля.

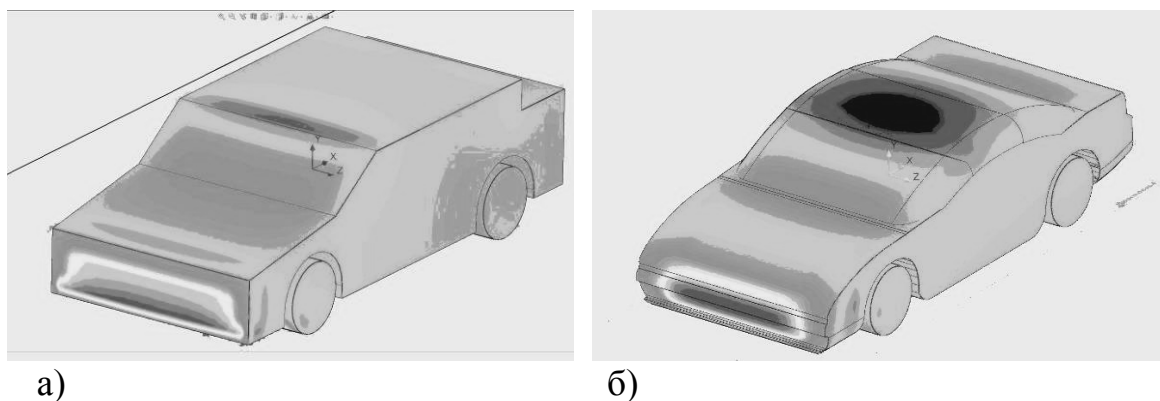


Рис. 2. Распределение давления на поверхности модели автомобиля без обтекателей (а) и с обтекателями, но без боковых скруглений (б)

При сглаживании некоторых горизонтальных поверхностей (закругления переднего и заднего капотов, переходов ветровое стекло - крыша - заднее стекло - задний капот - задний спойлер, боковых граней крыши и переднего и заднего стекла) кузова и при изменении переднего бампера (место под сетку радиатора) давление воздуха, набегающего на автомобиль, распределяется более равномерно. Это хорошо видно на поверхностной диаграмме давления воздуха (рис. 2 б).

После скругления передних и задних вертикальных граней модели кузова, добавления дополнительного заднего спойлера и небольшой коррекции линий обоих бамперов (с целью уменьшения влияния отрывных течений) было проведено моделирование натекания на автомобиль потоков воздуха (рис. 3), подобное тем, которыми обдувают прототипы в аэродинамических трубах на автомобилестроительных предприятиях [5]. Траектории движения воздуха отображают газодинамическую картину вокруг модели автомобиля.

Нужно отметить, что спереди автомобиля устанавливается много важных для движения и безопасности элементов, поэтому изучению аэродинамики передней части машины необходимо уделить большее внимание. В данной работе было рассмотрено изменение характеристик потока при скруглении переднего спойлера (рис. 4).

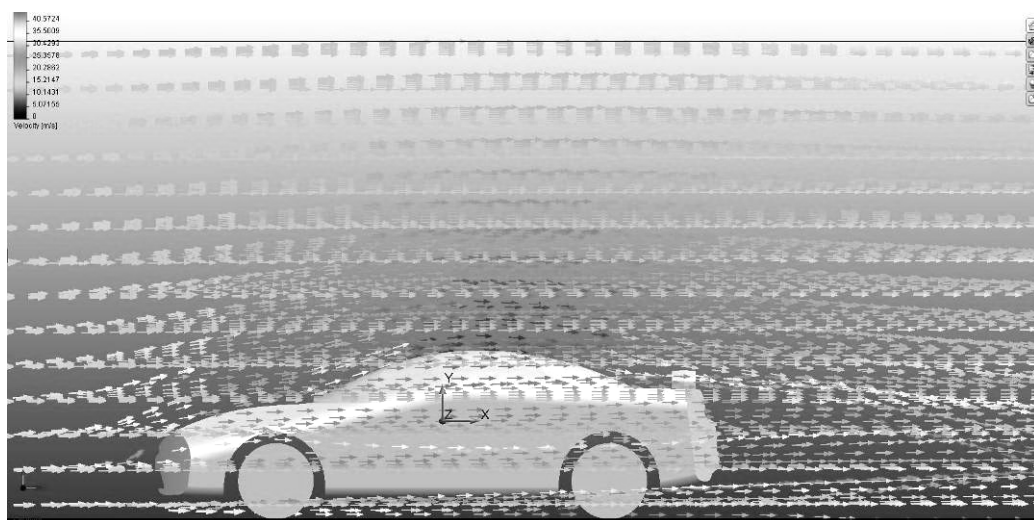
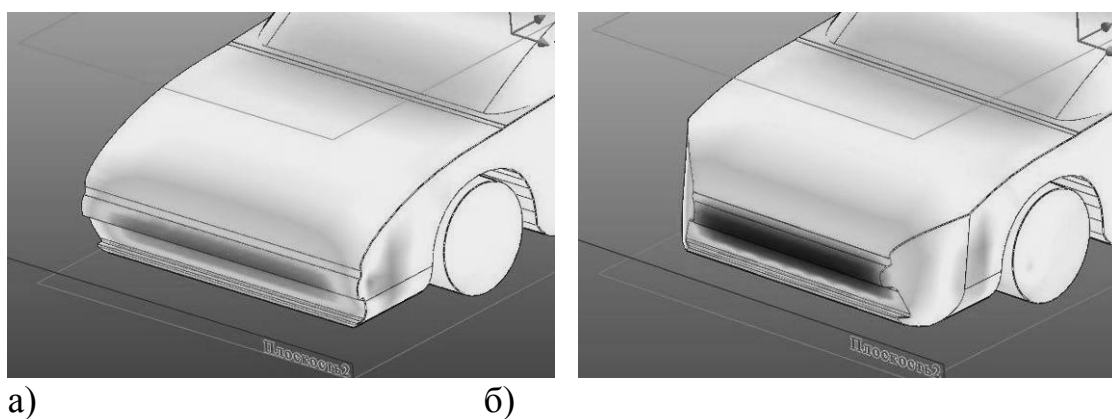


Рис. 3. Траектории движения потоков воздуха при обтекании автомобиля



а) б)
Рис. 4. Распределение давления по передней поверхности кузова без боковых скруглений (а) и с боковыми скруглениями (б)

На рис. 5 показано изменение давления при набегании потока на передний спойлер автомобиля.

На рис. 6 представлены траектории движения воздуха при набегании на переднюю часть автомобиля с отображением поля давления.

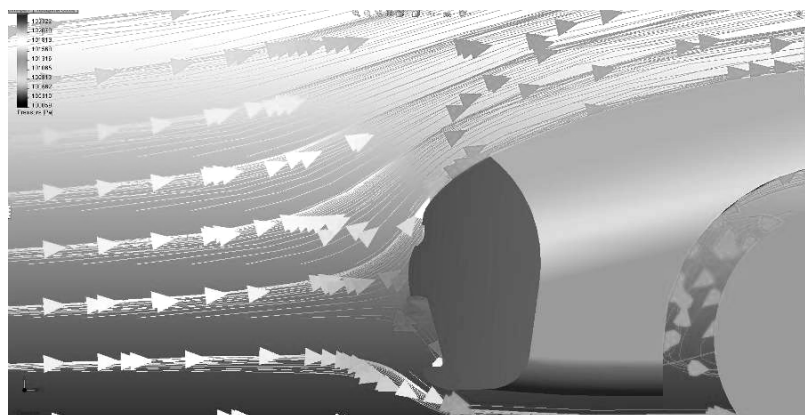


Рис. 5. Распределение давления воздуха у переднего спойлера автомобиля

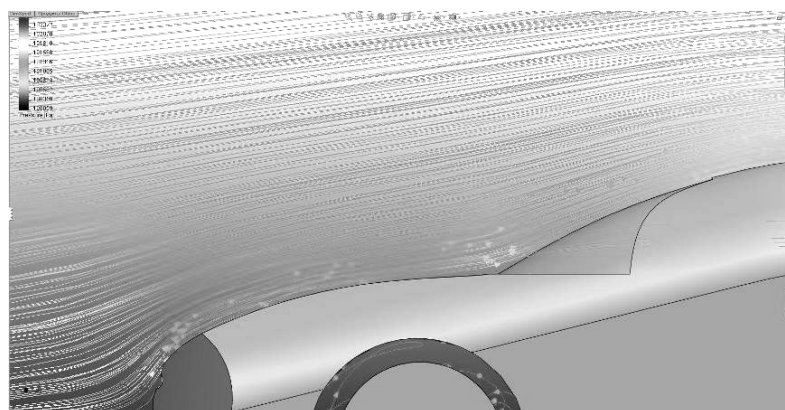
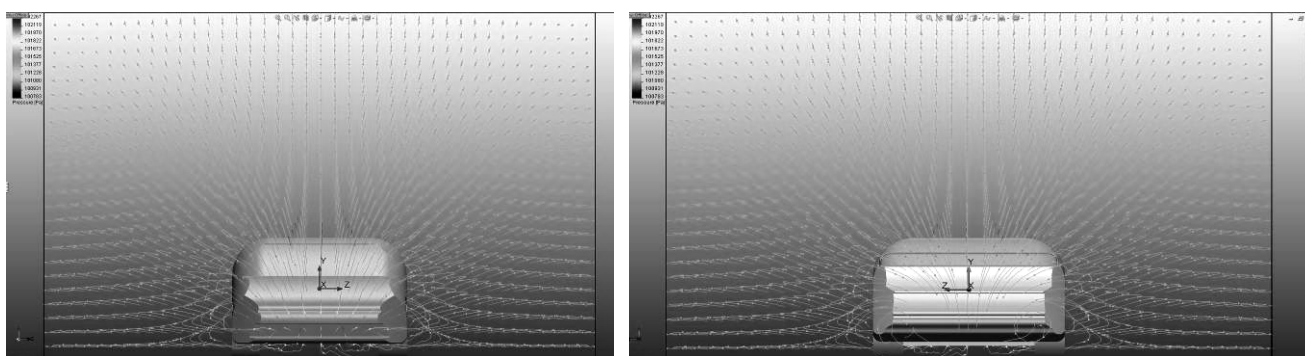


Рис. 6. Обтекание воздухом передней части автомобиля

Также в ходе анализа процесса обтекания были визуализированы потоки воздуха в расчетной области для определения зон завихрения потока воздуха (рис. 7, 8). Очевидно, что зоны завихрений и отрыва негативно влияют на характеристики обтекаемости изучаемой конструкции автомобиля, а значит, в результате моделирования проектировщик должен иметь четкое представление о местах и размере этих зон.



а)

б)

Рис. 7. Завихрения потока фронтальные (а) и тыловые (б)

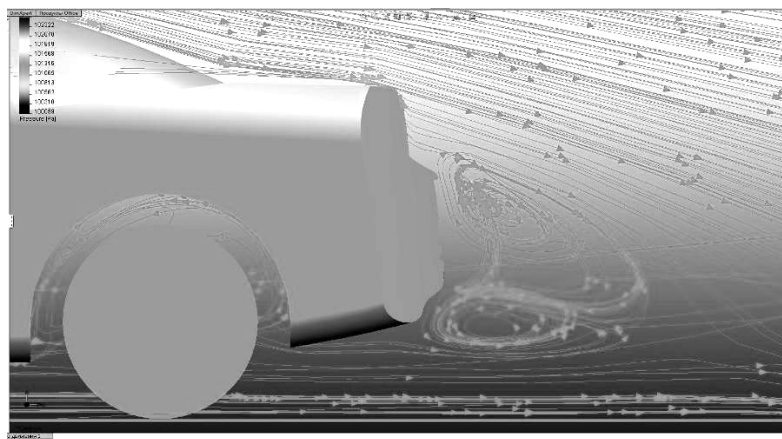


Рис. 8. Зоны завихрения и отрыва потока в задней части машины

COSMOSFloWorks обладает также возможностью построения объемных и плоских диаграмм изменения рассчитанных параметров. На рисунке 9 представлены диаграммы распределения давления воздуха в расчетном объеме (рис. 9 а) и на заданной плоскости (рис. 9 б) для усовершенствованной конструкции кузова машины.

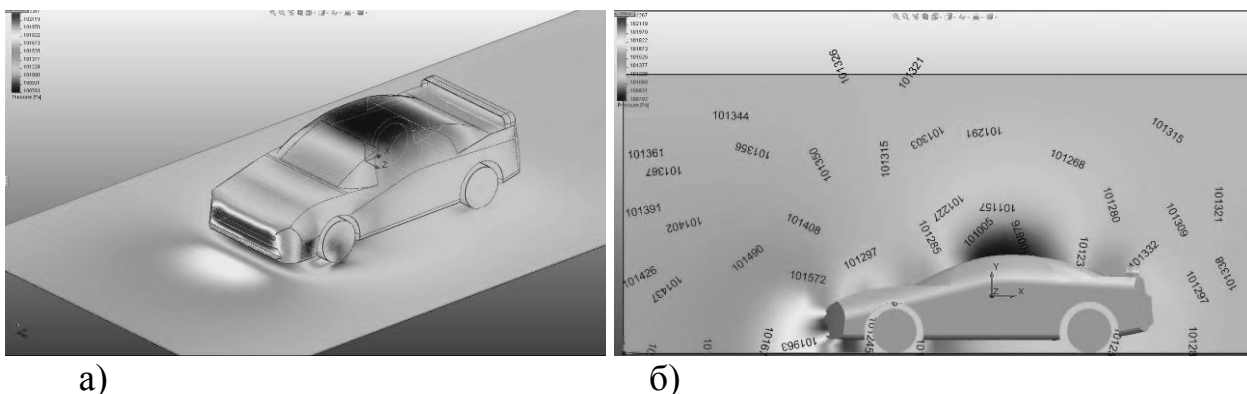


Рис. 9. Объемная диаграмма (а) и диаграмме на плоскости (б) распределения давления воздуха

В таблице 1 представлены результаты сравнения скачков давления в разных зонах кузова автомобиля до и после добавления обтекателей.

Сравнив показатели давления и скорости воздуха передней и задней зон автомобиля, изучив их диаграммы, можно твердо утверждать, что одним из основных элементов, влияющих на аэродинамику кузова машины и отвечающих за сопротивление конструкции, является задняя часть кузова.

Исследование выбранного автомобиля показало, что полукруглая в плане форма является лучшей для передней части автомобиля. Наилучшей из практически реализуемых форм является плавно снижающаяся вперед линия капота с получением в итоге клиноподобной передней части кузова. Несколько худший результат по характеристикам обтекания дает вариант с менее интенсивно снижающейся линией капота с образованием вертикальной плоскости порядка 200..300 мм в передней части кузова. Наихудшие результаты расчета получены для автомобиля с прямоугольными формами и горизонтальной линией капота. Лучшие показатели обтекания имеет форма нижней части кузова в виде одно-сторонне сплющенного овала, наихудший результат дает прямоугольная или трапециевидная форма нижней части кузова.

Результаты зондирования давления воздуха на кузове

Наименование зоны автомобиля	Кузов без обтекателей		Кузов с обтекателями	
	Интервал значений давления, Па	Разница давления, Па	Интервал значений давления, Па	Разница давления, Па
Передний спойлер в нижней части	101742-102510	768	101700-101800	100
Центральная часть закругления переднего капота	100763-101550	787	101200-101800	600
Переднее боковое закругление капота	100930-101508	578	101252-101540	288
Переход передний капот - ветровое стекло	101587-101613	26	101360-101565	205
Центральная часть перехода ветровое стекло-крыша	101020-100650	370	100800-101000	200
Боковая часть перехода ветровое стекло-крыша	100450-100750	300	100900-101000	100
Переход крыша - заднее стекло	101120-100800	320	100800-100900	100
Задняя часть под спойлером	101200-101300	100	101230-101430	200

Проведенное исследование показало удобство использования модуля COSMOSFloWorks для изучения аэродинамических характеристик при внешнем обтекании объекта. Данный модуль обладает широким инструментарием визуализации полученных результатов, а также удобными средствами создания отчетов об исследовании и сохранения данных расчетов для их анализа. Интеграция расчетных модулей в среду проектирования SolidWorks позволяет использовать современные достижения математического моделирования для решения каждодневных задач в ходе разработки технических объектов.

Список литературы

1. Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть III.// CAD/CAM/CAE Observer. – 2009. – № 4 (48) – С.64-75.
2. Алямовский А.А. SolidWorks2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
3. Ушаков В. Анализ обтекания тел с отрывом потока в системе SolidWorks/FloWorks.// CAD/CAM/CAE Observer. – 2003. – №3 (12) – С.2-9.
4. Корелов О. Унесенные ветром. Аэродинамика автомобилей.// Автомобили и технологии. – 2009. – <http://www.autotechnic.su/technology/aero/aero.html>.
5. Бедржицкий Е.Л., Дубов Б.С., Радциг А.Н. Теория и практика аэродинамического эксперимента. – М.: Изд-во МАИ, 1990. – 216 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Заболотним К.С.
Надійшла до редакції 18.10.10*