

УДК 629.113

И.Е. Анучин, А.В. Тумасов, В.В. Беляков

## ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ АНТИКРЫЛЬЕВ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПОРТИВНОГО АВТОМОБИЛЯ КЛАССА ФОРМУЛА-СТУДЕНТ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты расчетных исследований аэродинамических характеристик спортивного автомобиля класса Формула-Студент, спроектированного и созданного командой НГТУ «АМІgo». Представлены результаты моделирования процесса обтекания воздушным потоком модели автомобиля с установленными аэродинамическими элементами и без них, полученные в программе CD-adapco Star CCM+.

*Ключевые слова:* антикрыло, коэффициент аэродинамического сопротивления, аэродинамические характеристики, прижимная сила.

Аэродинамические настройки спортивного автомобиля – неотъемлемая часть подготовки транспортного средства к соревнованиям. Во время настройки автомобиля, при тестовых заездах, инженерам необходимо максимально быстро подобрать соответствующие характеристики аэродинамических элементов. Сделать такие настройки грамотно, как правило, без предварительных расчетов, затруднительно. При этом важным являются не только характеристики аэродинамических элементов, но и их расположение относительно кузова автомобиля. Неправильное расположение может привести к ухудшению аэродинамических характеристик автомобиля.

При выборе места расположения антикрыльев важно понимать, какую силу лобового сопротивления и какую прижимную силу они будут создавать. Для выявления общей картины влияния расположения аэродинамических элементов на характеристики автомобиля предлагается провести ряд расчетов, по которым в дальнейшем можно выделить наиболее рациональные варианты конструкции.

Объектом данного исследования является модель спортивного автомобиля класса Формула-Студент команды «АМІgo» Нижегородского государственного технического университета [1].

С 2013 года в регламенте Formula SAE разрешена установка аэродинамических элементов на автомобиль [2]. В данном исследовании оценивается влияние расположения переднего и заднего антикрыльев автомобиля на его аэродинамические характеристики. Виртуальные модели антикрыльев (их геометрические модели) были взяты из ресурса сети Интернет, имеющего свободный доступ [3]. Внешний вид и сечения антикрыльев показаны на рис. 1 и 2.

Расчетная модель автомобиля формируется по принципу, описанному в работе [4]. Различием является лишь использование упрощенной геометрической модели (закрытые колеса и отсутствие элементов подвески) и расчетной сетки типа Trimmer (рис. 3). Скорость воздушного потока, при котором происходит расчет, составляет 28 м/с. Расчет осуществляется в программном комплексе CD-adapco Star CCM+.

Рассматривается несколько вариантов моделей автомобиля, при этом в каждом варианте геометрические характеристики антикрыльев остаются постоянными, изменяется лишь относительное расположение антикрыльев.

Модель 1 – автомобиль без аэродинамических элементов. Коэффициент лобового сопротивления: 0,54. Подъемная сила всего автомобиля: 1,5 Н. Следует отметить, что у стандартной модели автомобиля наблюдается значительная подъемная сила, которая ухудшает поведение автомобиля при совершении маневров на высокой скорости.

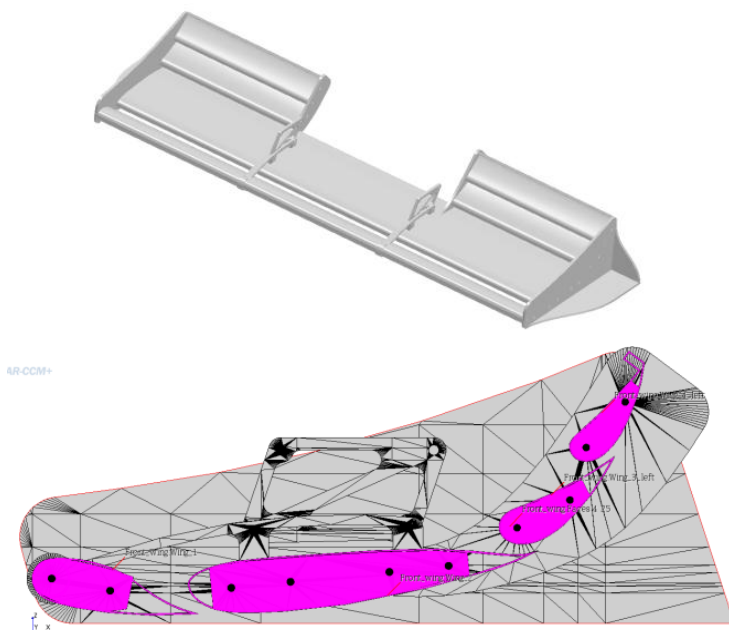


Рис. 1. Переднее антикрыло

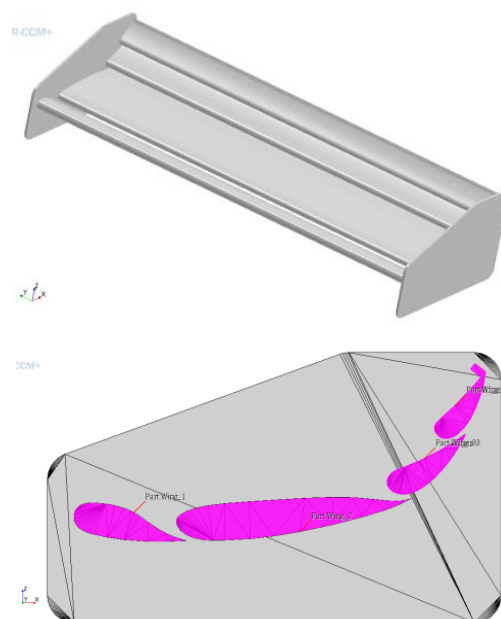


Рис. 2. Заднее антикрыло

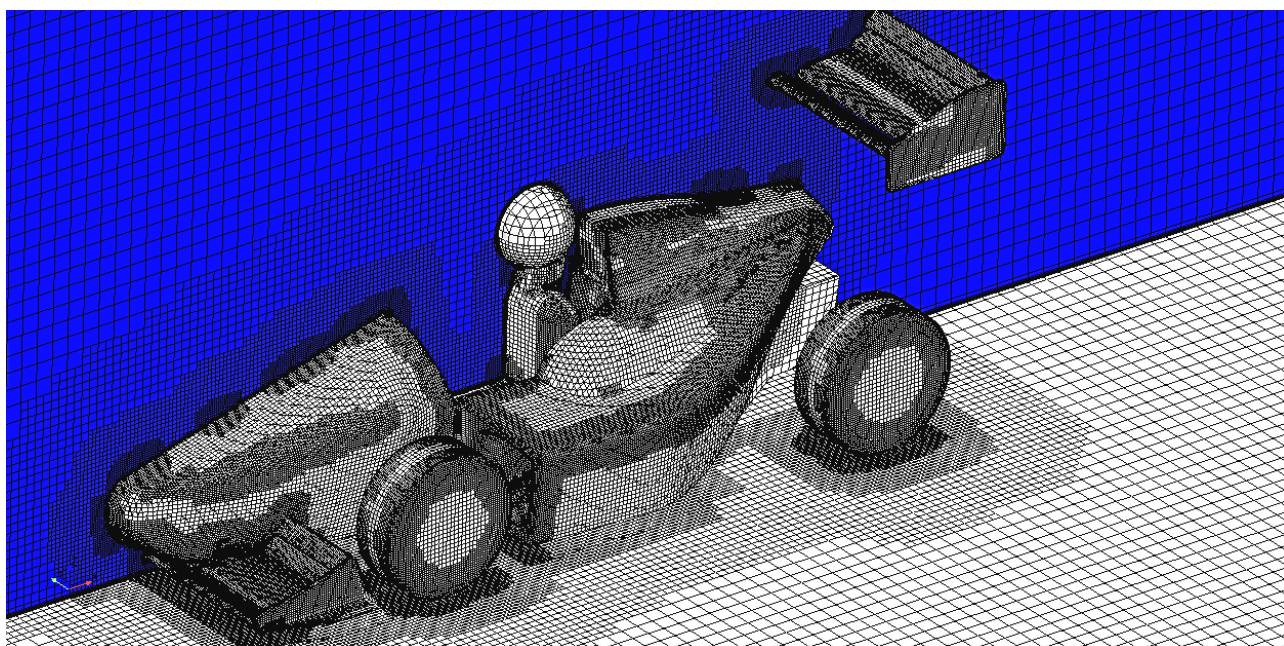


Рис. 3. Сеточная модель модели автомобиля

Модель 2 – автомобиль с установленными антикрыльями в начальном положении (рис. 4 и 5). На данной модели возникает прижимная сила, большая часть которой приходится на заднюю часть автомобиля. Однако наблюдается повышение коэффициента лобового сопротивления, которое вызвано дополнительным сопротивлением от установленных антикрыльев [5].

Модель 3 – автомобиль с установленными антикрыльями, переднее антикрыло смещено на 0,015 м вперед по ходу автомобиля (рис. 6). По сравнению со стандартным положением переднего антикрыла (модель 2), на данной модели незначительно увеличился коэффициент аэродинамического сопротивления, но на 31% возрастает прижимная сила, что следует признать положительным.

Модель 4 – автомобиль с установленными антикрыльями, переднее антикрыло сме-

щено на 0,0075 м вперед по ходу автомобиля (рис. 7). Для данного варианта модели также характерно повышение коэффициента аэродинамического сопротивления, но прижимная сила, создаваемая передним антикрылом, оказывается меньше, чем у варианта 3.

Модель 5 – автомобиль с установленными антикрыльями, переднее антикрыло смещено на 0,0075 м вверх (рис. 8). При поднятии переднего антикрыла уменьшается зона пониженного давления под ним, что приводит к уменьшению прижимной силы крыла.

Модель 6 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,03 м вперед по ходу автомобиля (рис. 9). При смещении заднего антикрыла вперед по ходу автомобиля, уменьшается прижимная сила на задней оси и коэффициент аэродинамического сопротивления. Данное явление происходит из-за частичного попадания спутного следа (с низким давлением) от шлема пилота на антикрыло.

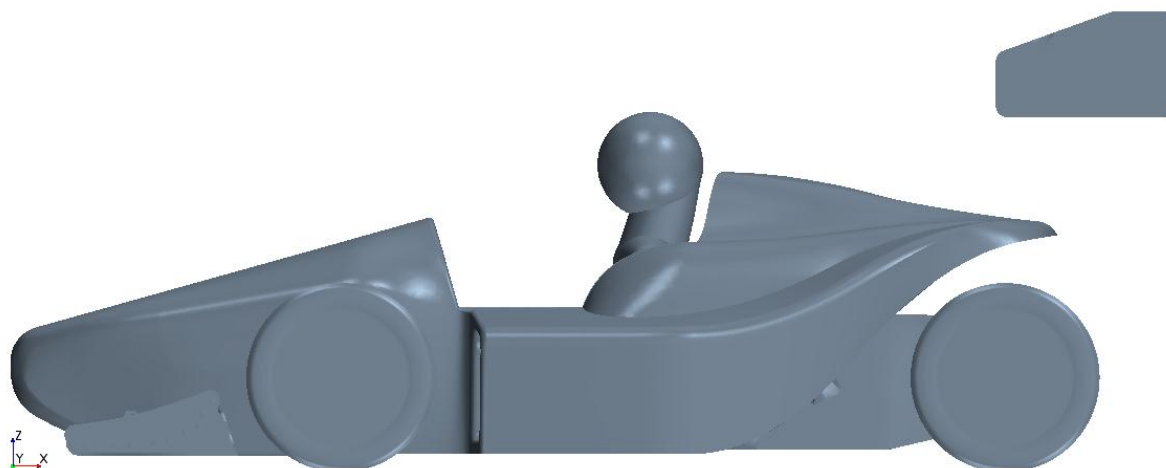


Рис. 4. Модель автомобиля (вариант 2) с установленными аэродинамическими элементами в начальном положении

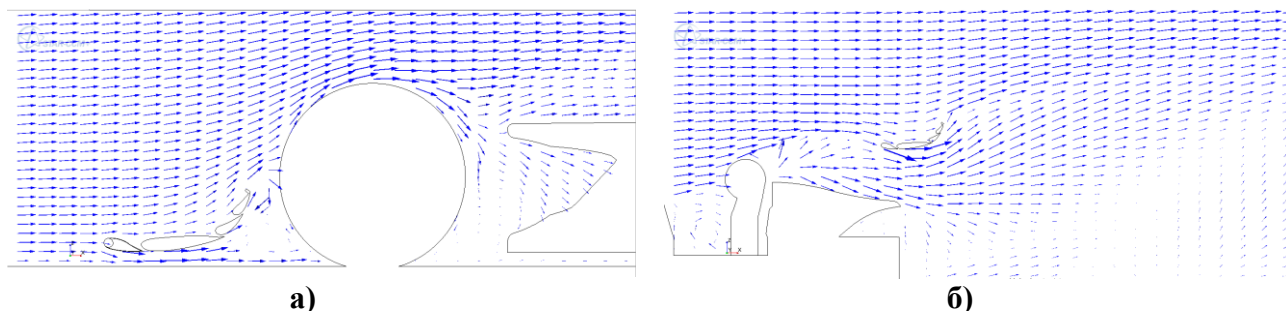


Рис. 5. Векторные и скалярные сцены обтекания частей автомобиля:  
а – переднего антикрыла; б – заднего антикрыла

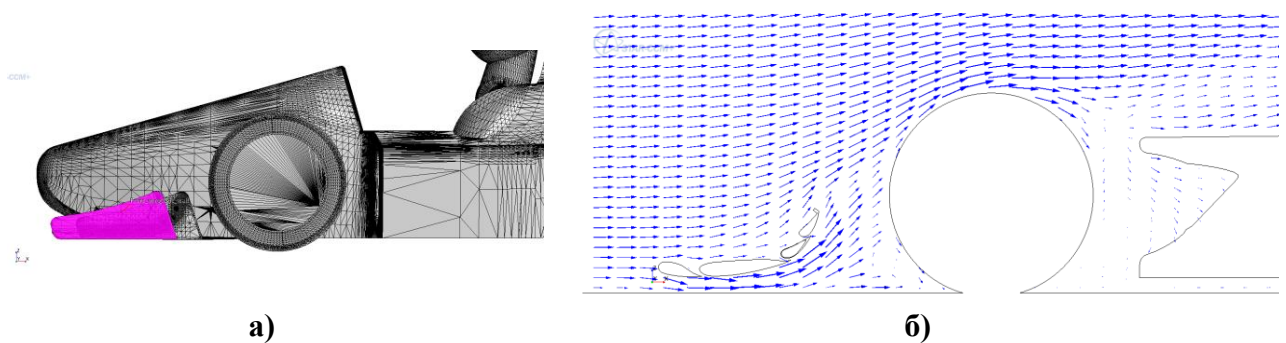
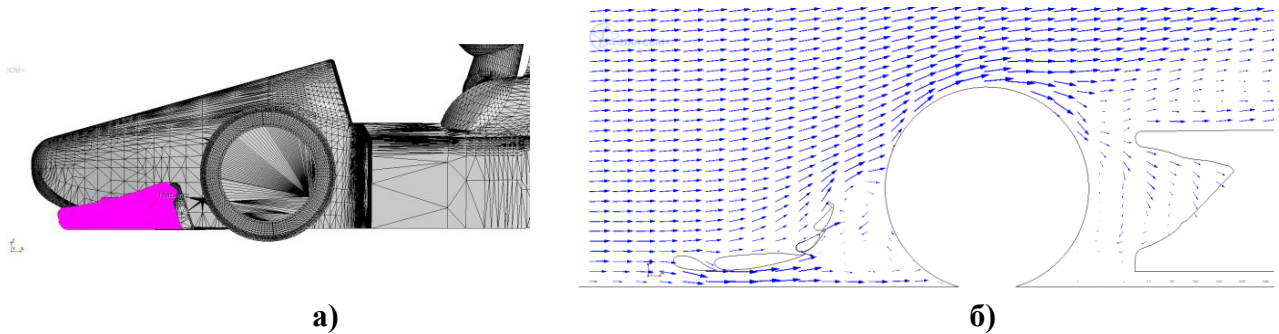


Рис. 6. Результаты расчета модели варианта 3:  
а – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
б – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии колеса



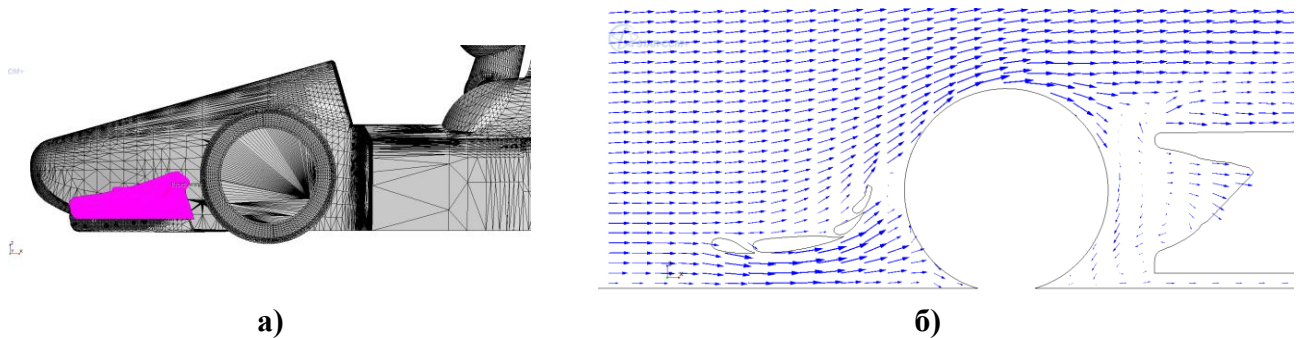
а)

б)

**Рис. 7. Результаты расчета модели варианта 4:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;

*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии колеса



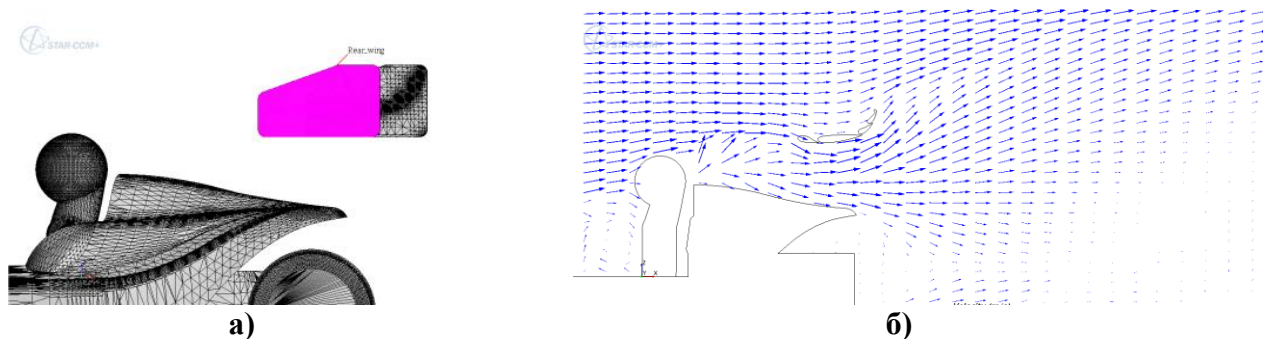
а)

б)

**Рис. 8. Результаты расчета модели варианта 5:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;

*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии колеса



а)

б)

**Рис. 9. Результаты расчета модели варианта 6:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;

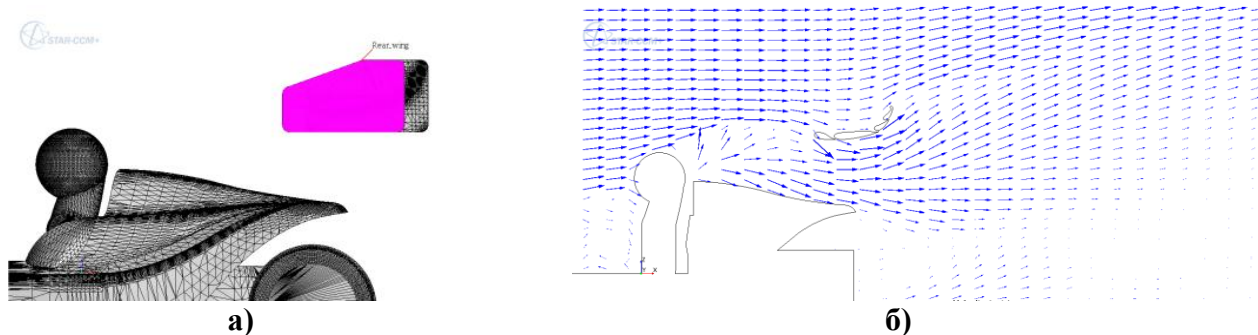
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля

Модель 7 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,015 м вперед по ходу автомобиля (рис. 10). В этом варианте антикрыло смещено на расстояние вдвое меньшее, чем на модели варианта 6, что также приводит к уменьшению прижимной силы заднего антикрыла по сравнению со стандартной моделью, но на несколько меньшее значение (по сравнению с вариантом 6).

Модель 8 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,03 м назад по ходу автомобиля (рис. 11). Дальнейшее смещение антикрыла приводит к возрастанию прижимной силы, но вместе с ней и увеличивается коэффициент аэродинамического сопротивления.

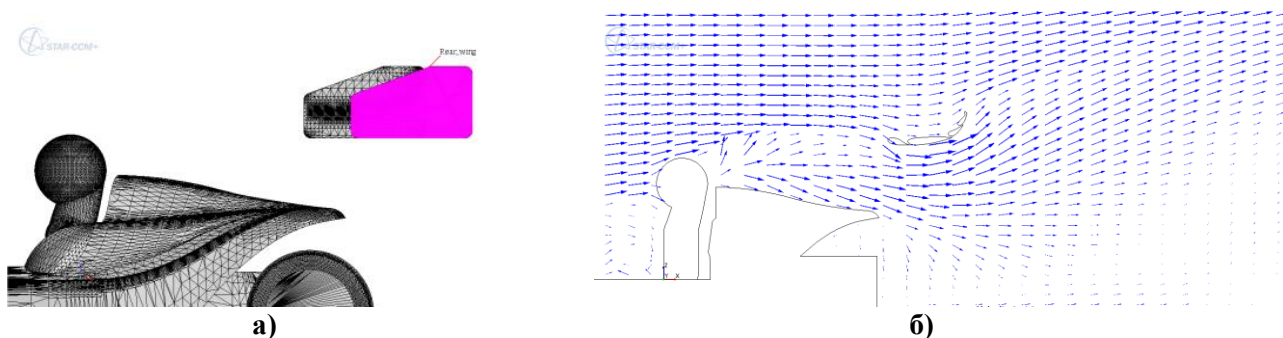
Модель 9 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,03 м вниз (рис. 12). Данное положение является менее рациональным, так как большая часть антикрыла находится в зоне с пониженным давлением, которая остается от шлема пилота, поэтому значение прижимной силы в данном случае минимальное.





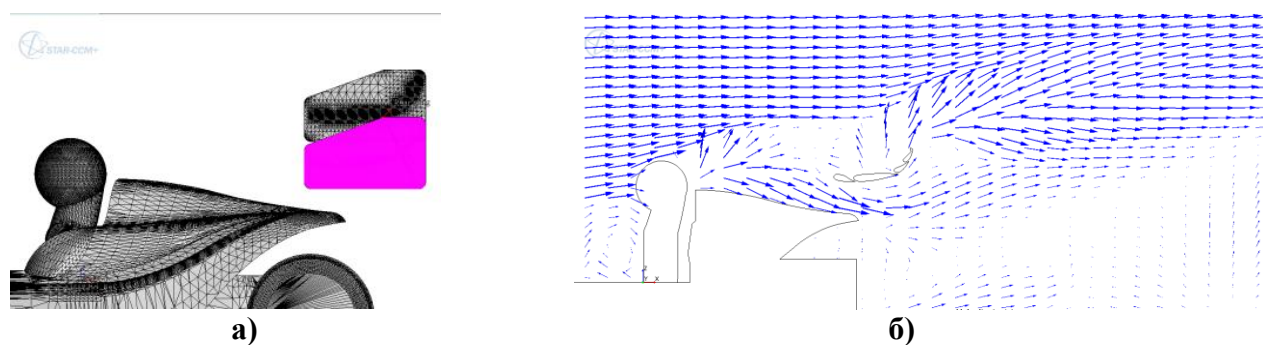
**Рис. 10. Результаты расчета модели варианта 7:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля



**Рис. 11. Результаты расчета модели варианта 8:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля



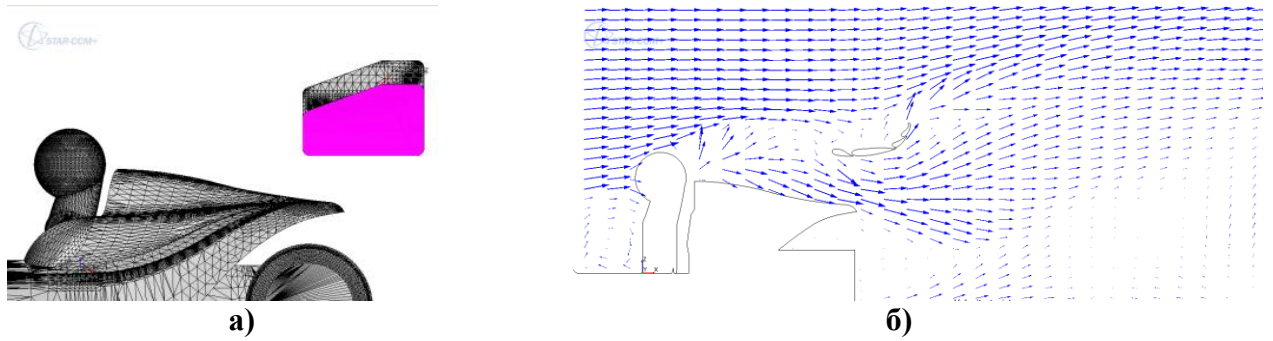
**Рис. 12. Результаты расчета модели варианта 9:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля

Модель 10 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,015 м вниз (рис. 13). В данном положении антикрыло находится в более выгодном положении, чем на модели варианта 9, при этом наблюдается уменьшение коэффициента аэродинамического сопротивления и прижимной силы.

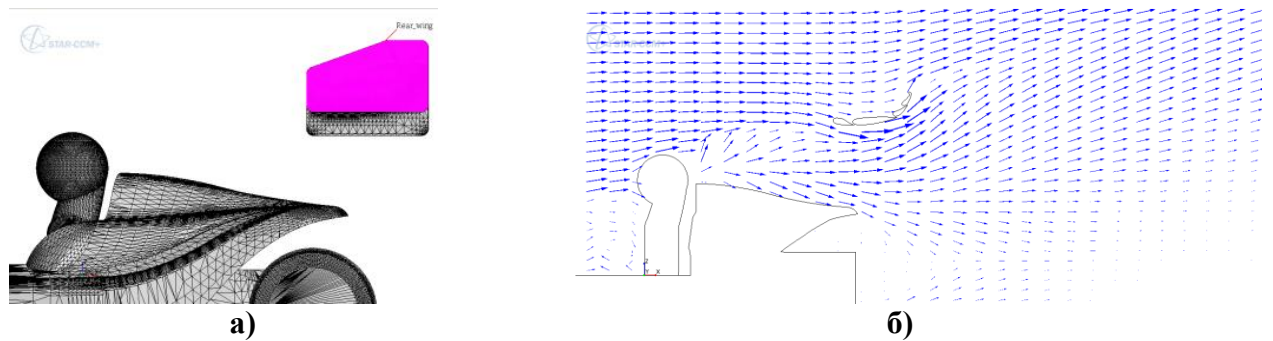
Модель 11 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,015 м вверх (рис. 14). При повышении антикрыла, из-за наименьшего влияния спутного следа от шлема пилота, увеличивается прижимная сила. По сравнению с моделью варианта 2 уменьшается коэффициент аэродинамического сопротивления.

Приведенные результаты расчетных исследований позволяют сделать вывод о том, что изменение положения антикрыльев существенно влияет на аэродинамические характеристики автомобиля (диаграмма рис. 15).



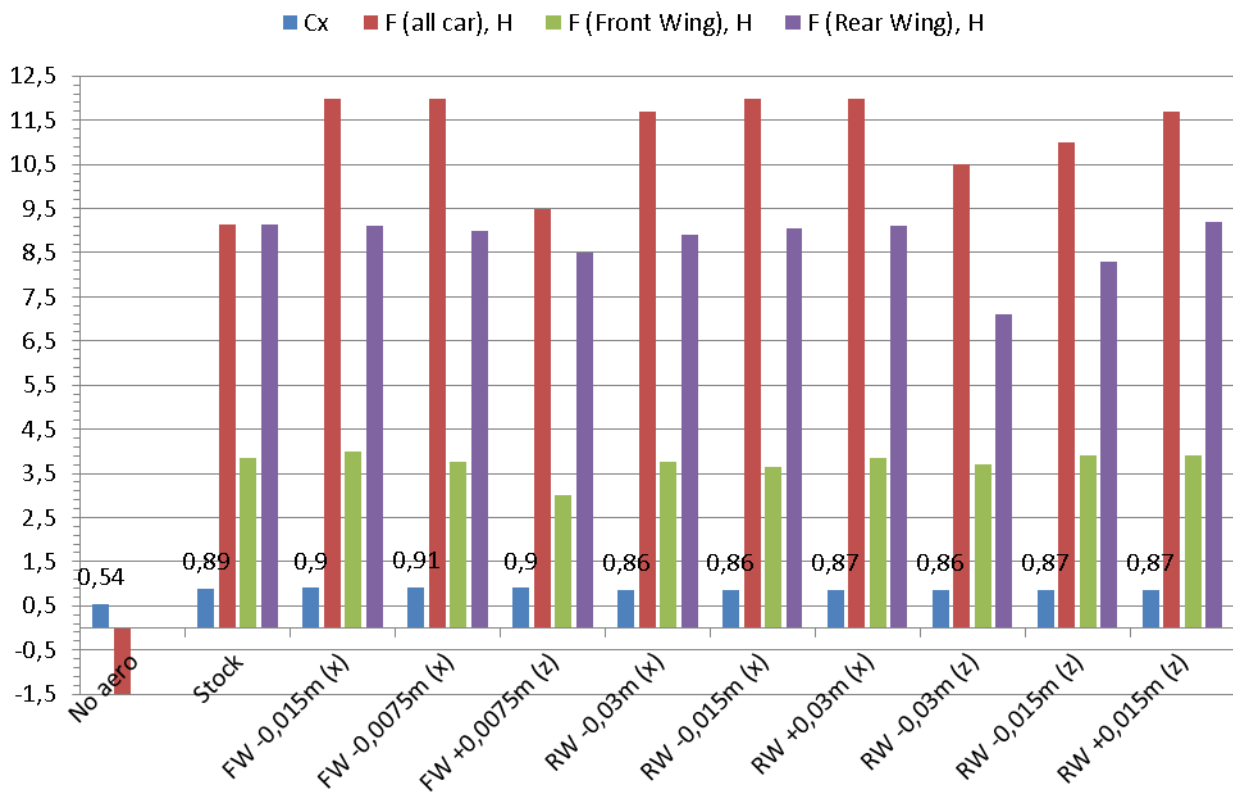
**Рис. 13. Результаты расчета модели варианта 10:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля



**Рис. 14. Результаты расчета модели варианта 11:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля



**Рис. 15. Сравнение аэродинамических характеристик автомобиля в зависимости от положения аэродинамических элементов**

Из всех рассмотренных вариантов моделей можно рекомендовать следующие:

- с наименьшим коэффициентом аэродинамического сопротивления: модели вариантов 6, 7 и 9;
- с наибольшей прижимной силой всего автомобиля: модели вариантов 3, 4, 7 и 8;
- с наибольшей прижимной силой, создаваемой передним антикрылом: модели вариантов 2, 3, 8, 10 и 11;
- с наибольшей прижимной силой, создаваемой задним антикрылом: модели вариантов 2, 3, 8 и 11;

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что модели вариантов 2, 6, 8 и 11 обладают наилучшими аэродинамическими характеристиками.

### Библиографический список

1. **Анучин, И.Е.** Исследования аэродинамических свойств масштабной модели спортивного автомобиля класса Formula Student / И.Е. Анучин [и др.] // Будущее технической науки: тез. докл. XIII междунар. молодеж. научно-техн. конф. / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород. 2014.
2. Регламент Formula SAE [электронный ресурс] URL: <http://www.fsaeonline.com/content/2015-16%20FSAE%20Rules%20revision%2091714%20kz.pdf> (дата обращения 27.08.2014)
3. SAE FHR 2010 Project Car [электронный ресурс] URL: <https://grabcad.com/library/sae-fhr-2010-project-car> (дата обращения 27.08.2014)
4. **Анучин, И.Е.** Исследование аэродинамических свойств спортивного автомобиля класса “Формула - студент” по результатам расчетно-экспериментальных исследований: докл. на конференции Star Russian Conference по теме. – Н.Новгород, 2014. [электронный ресурс] URL: [http://download.star-russian-conference.ru/star2014/SRC2014\\_NNTU\\_Anuchin.pdf](http://download.star-russian-conference.ru/star2014/SRC2014_NNTU_Anuchin.pdf) (дата обращения 27.08.2014)
5. **Михайловский, Е.Г.** Аэродинамика автомобиля / Е.Г. Михайловский. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.

*Дата поступления  
в редакцию 30.09.2014*

**I.E. Anuchin, A.V. Tumasov, V.V. Belyakov**

## **EFFECTS OF WING LOCATION ON THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF A SPORTS CAR OF FORMULA-STUDENT CLASS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The assessment of the impact of splashes location on the aerodynamic characteristics of a sports car of Formula-Student class.

**Design/methodology/approach:** The simulation is based on the computational fluid dynamic using modern package CD-adapco Star CCM + which allows to take into account the shape of the vehicle, the air flow rate, occupancy splashes.

**Findings:** It is possible to apply the research results for estimation of controllability, speed and tractive characteristics of Formula-Student sport car on the basis of simulation results.

**Research limitations/implications:** Present study provides a starting-point for further research in the field of sport car active safety.

**Originality/value:** The main peculiarity of the study is original approach of computer simulation of Formula-Student sport car behavior that could have a good practical application.

*Key words:* wing, the drag coefficient, aerodynamic characteristics, downforce.