

**Автономная некоммерческая общеобразовательная организация "Физтех-лицей"  
(АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы)**

**XX научно-практическая конференция**

**«Старт в инновации»**

**«ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЩИТКА  
НА ЛЕГКОВОМ АВТОМОБИЛЕ»**

Выполнили:  
Мулина Виктория,  
Тягло Надежда  
7А класс  
Руководитель:  
Мулин П. В.  
Куратор:  
Гуленко Т.Н.

Московская область, г. Долгопрудный

2021 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Разработка способа применения и конструктивной схемы аэродинамического щитка на легковом автомобиле .....	4
2. Формирование математической модели процесса торможения автомобиля с использованием аэродинамического щитка.....	4
3. Разработка компьютерной модели процесса торможения автомобиля с использованием аэродинамического щитка.....	6
4. Определение эффективности применения аэродинамического щитка на легковом автомобиле по результатам вычислительного эксперимента с использованием виртуально-физического моделирования процесса торможения при различных условиях.....	7
Заключение .....	8
Список используемых источников.....	9
Приложение №1. Устройство выпуска щитка на военных самолетах Су-27 и МиГ-29.....	10
Приложение №2. Конструктивные схемы применения аэродинамического щитка на легковом автомобиле.....	11
Приложение №3. Силы, действующие на автомобиль при торможении .....	12
Приложение №4. Схема моделирования процесса торможения автомобиля в среде MATLAB-Simulink.....	13
Приложение №5. Алгоритм применения аэродинамического щитка.....	14
Приложение №6. Результаты вычислительного эксперимента.....	15
Приложение №7. Результаты вычислительного эксперимента. Эффективность применения щитка при начальной скорости торможения 150 км/ч, исследование влияния прижимной силы щитка.....	19
Приложение №8. Результаты вычислительного эксперимента. Влияние начальной скорости торможения, наличия встречного ветра, уклона дороги и значения коэффициента сцепления на величину относительного сокращения тормозного пути .....	20

## **Введение**

В связи с реализации в Российской Федерации программы развития скоростных автомобильных дорог, особую актуальность приобретает обеспечение безопасности дорожного движения. На российских автомагистралях максимальная разрешенная скорость — 130 км/час, плюс не штрафуемый порог превышении скорости в 20 км/час. В Германии вообще нет ограничений скоростного режима. Вместе с тем: «Скорость автомобиля является первой причиной смертности в дорожно-транспортных происшествиях. Либо неправильная оценка ситуации, когда водитель движется со слишком большой скоростью, либо умышленное превышение скоростных режимов, предусмотренных дорожными знаками», — заявил начальник ГУОБДД МВД России, полковник полиции Олег Понарьин [1].

Уменьшение тормозного пути позволяет повысить безопасность дорожного движения, сократив число и тяжесть дорожно-транспортных происшествий. Следует отметить, что даже мелкая авария может приводить к тяжелым последствиям. Например, произошла мелкая авария на скоростной трассе, из-за того, что кто-то не успел затормозить и слегка подтолкнул впереди едущий или стоящий автомобиль. Водители включили аварийную сигнализацию, один из водителей достал знак аварийной остановки, но не успел его поставить, как был сбит еще одним автомобилем.... Либо стоящие после мелкой аварии автомобили, перекрыли движение по одной полосе, вынудив остальных водителей тормозить, перестраиваться, что приводит к пробке на дороге.

Торможение автомобиля осуществляется при помощи тормозной системы (колёсные тормоза). Максимальное значение тормозной силы зависит от коэффициента сцепления шин автомобиля с дорогой и нормальной нагрузки на колеса. В авиации для гашения скорости полёта используют воздушный тормоз - управляемую поверхность самолета, с помощью которой увеличивают его лобовое сопротивление. Поскольку скорости автомобилей на скоростных трассах близки к посадочной скорости самолетов, то представляется перспективным исследовать эффективность их применения и на легковых автомобилях.

В работе исследуется возможность применения устройства, способного уменьшить тормозной путь, в сочетании с рабочей тормозной системой. В качестве такого устройства предлагается использовать аэродинамический щиток. Эффективность аэродинамического торможения зависит от скорости набегающего воздушного потока, следовательно, чем больше начальная скорость торможения, тем выше должна быть его эффективность.

**Область исследования:** Физика, Информатика.

**Цель исследования:** определение эффективности применения аэродинамического щитка на легковом автомобиле.

**Задачи исследования:**

– Разработка способа применения и конструктивной схемы аэродинамического щитка на легковом автомобиле.

– Формирование упрощенной математической модели процесса торможения автомобиля с использованием аэродинамического щитка.

– Разработка компьютерной модели процесса торможения автомобиля с использованием аэродинамического щитка.

– Разработка алгоритма применения аэродинамического щитка.

– Определение эффективности применения аэродинамического щитка на легковом автомобиле по результатам вычислительного эксперимента с использованием виртуально-физического моделирования процесса торможения при различных условиях.

**Методы исследования:** сбор информации, системный анализ, имитационное моделирование.

## **1. Разработка способа применения и конструктивной схемы аэродинамического щитка на легковом автомобиле**

Торможение это процесс, во время которого кинетическая энергия движущегося автомобиля в результате трения преобразуется в теплоту и рассеивается в окружающем пространстве. Трение создается тормозными механизмами, установленными на каждом колесе. Во время торможения на колесо одновременно происходят два взаимосвязанных явления: во-первых, в результате работы тормозного механизма создается тормозной момент, который препятствует вращению колеса; во-вторых, в результате взаимодействия покрышки с дорогой возникает момент сцепления, стремящийся поддержать вращение колеса. При торможении элементарные силы трения, возникающие в паре трения «колодки — тормозной барабан», создают момент трения, направленный в сторону, противоположную вращению колеса, а между колесом и дорогой возникает тормозная сила. При полном торможении колесо блокируется и происходит рассеивание энергии в месте контакта покрышки с дорогой. В случае экстренного торможения на горизонтальной дороге, движущей силой является сила инерции автомобиля, а основной силой сопротивления движению является суммарная тормозная сила всех колес. При рабочем торможении колесо вращается, а энергия рассеивается в тормозном механизме. При идеальном торможении вся энергия движения автомобиля превращается в тепло.

Задача экстренного торможения автомобиля состоит в остановке с минимальным тормозным путем. Для решения поставленной задачи предлагается использовать аэродинамический щиток, конструктивно размещенный на верхней поверхности крыши автомобиля. Предполагается, что выпуск щитка от поверхности крыши осуществляется с помощью приводов, на которые поступает сигнал при нажатии водителем педали тормоза, когда скорость движения автомобиля превышает заданное значение. Устройство выпуска щитка можно сделать аналогичным тому, что используется на военных самолетах Су-27 и МиГ-29 (см. Приложение №1).

В Приложение №2 приведены два варианта предлагаемых конструктивных схем аэродинамического щитка на легковом автомобиле. Они отличаются силовым воздействием воздушного потока на щиток и автомобиль. В первом варианте выпуск щитка сопровождается созданием прижимной силы автомобиля в основном на сам щиток и через элементы конструкции выпуска щитка передается на крышу, и созданием прижимной к дорожному полотну силы. Во втором варианте – созданием прижимной силы автомобиля за счет торможения потока над автомобилем. Предполагается произвести окончательный выбор по результатам дополнительных исследований с использованием специального программного обеспечения, обеспечивающего определение аэродинамических характеристик за счет виртуального обдува автомобиля с выпущенным щитком. Расположения щитка на верхней поверхности крыши автомобиля призван решить задачу: выпуск щитка не должен увеличить габаритные размеры автомобиля по ширине и длине, поскольку они имеют большое значение для формирования транспортного потока по ширине и длине, а также для его безопасности.

Так как ширина щитка значительна, то для обеспечения жесткости конструкции устройство выпуска щитка включает два привода шарнирно соединенных штоками с аэродинамическим щитком и шарнирно закрепленных на крыше и расположенных по ее бокам. При этом щиток в убранном состоянии расположен в нише крыши, штоки приводов щитков выполнены раздвижными. Выпуск щитка обеспечивает увеличение лобового сопротивления автомобиля и создание прижимной к дорожному полотну силы.

## **2. Формирование математической модели процесса торможения автомобиля с использованием аэродинамического щитка**

При торможении, в общем случае, на автомобиль действуют следующие силы (см. Приложение №3):

–Сила тяжести  $mg$ .

–силы, составляющие нормальные реакции дороги на передние  $N_{II}$  и задние  $N_3$  колеса, направленные перпендикулярно плоскости дороги.

–Силы сопротивления качению передних  $F_{II}$  и задних  $F_3$  колес, действующие в плоскости дороги.

–сила сопротивления воздуха при убранном щитке  $X_a$  ;

–дополнительная сила сопротивления воздуха выпущенного щитка  $\Delta X_a$  ;

–подъемная сила при убранном щитке  $Y_a$  ;

–прижимная сила выпущенного щитка  $\Delta Y_a$  .

Сила сопротивления воздуха  $X_a$  вызвана действием давления встречных частиц воздуха на движущийся автомобиль, разрежения, образующегося позади автомобиля, завихрения воздуха вокруг автомобиля и трения воздуха о поверхность автомобиля. В каждой точке поверхности автомобиля в итоге соприкосновения его с воздушной средой появляются элементарные силы, нормальные к поверхности и касательные к ней.

Для упрощения расчетов элементарные силы сопротивления воздуха, распределенные по всей поверхности автомобиля, заменяют сосредоточенной силой сопротивления воздуха  $X_a$  [2].

$$X_a = c_x \frac{\rho (V + W)^2}{2} S, \quad (1)$$

где  $\rho$  - плотность воздуха;  $S$  - лобовая площадь автомобиля (площадь проекции автомобиля на плоскость перпендикулярную направлению движения);  $c_x$  - коэффициент сопротивления воздуха, зависящий от формы и качества отделки поверхности автомобиля;  $V$  - скорость движения автомобиля;  $W$  - составляющая скорости ветра вдоль полотна дороги.

Выражение для подъемной силы имеет вид [2].

$$Y_a = c_y \frac{\rho (V + W)^2}{2} S_{ш}, \quad (2)$$

где  $c_y$  - коэффициент подъемной силы;  $S_{ш}$  - площадь проекции автомобиля на дорожное полотно.

В соответствии со вторым законом Ньютона запишем уравнение торможения автомобиля

$$ma = -X_a - \Delta X_a - F + mg \sin \theta, \quad (3)$$

где  $m$  - масса автомобиля;  $a$  - ускорение торможения автомобиля;  $\theta$  - угол уклона дороги;  $F = F_{II} + F_3$  - суммарная сила сопротивления качению.

Силу сопротивления воздуха, вызванную выпуском щитка  $\Delta X_a$  , будем находить по формуле

$$\Delta X_a = c_x \frac{\rho (V + W)^2}{2} S_{щ}, \quad (4)$$

где  $S_{щ}$  - лобовая площадь щитка (см. приложение №4).

Суммарная сила сопротивления качению определяется из выражения

$$F = f \times N, \quad (5)$$

где  $f$  - коэффициент сцепления, учитывающий состояние дороги, давление в шинах и пр.;  $N = N_{II} + N_3$  - суммарная сила реакции дороги.

Коэффициент сцепления является основным фактором, влияющим на безопасность движения при взаимодействии колеса с дорожным покрытием. Он зависит от погодных условий, качества материала покрытия и эксплуатации автомобильной дороги. Под воздействием климатических условий дорожное покрытие может находиться в различном состоянии, что оказывает влияние на значение коэффициента сцепления дороги с транспортными средствами (таблица 1) [3].

Таблица 1

Вид дорожного покрытия	Состояние покрытия	Коэффициент сцепления
Асфальт, бетон	сухой	0,7 ÷ 0,8
	мокрый	0,5 ÷ 0,6
	грязный	0,25 ÷ 0,45
Асфальт, бетон	обледенелые	0,09 ÷ 0,10

Проецируя силы в направлении перпендикулярном скорости движения автомобиля, получим (см. Приложение №3)

$$N = -Y_a + \Delta Y_a + mg \cos \theta, \quad (6)$$

Прижимную силу выпущенного щитка  $\Delta Y_a$ , будем находить по формуле

$$\Delta Y_a = \Delta c_y \frac{\rho (V + W)^2}{2} S_{щ}, \quad (7)$$

где  $\Delta c_y$  - коэффициент прижимной силы.

Для упрощения задачи исследования принято допущение, что подвеска автомобиля жесткая и в процессе торможения отсутствуют наклоны кузова и скольжение колес, т.е. движение юзом.

### 3. Разработка компьютерной модели процесса торможения автомобиля с использованием аэродинамического щитка

Для определения эффективности применения аэродинамического щитка на легковом автомобиле разработана имитационная модель процесса торможения автомобиля с использованием аэродинамического щитка в среде MATLAB-Simulink. MATLAB-Simulink – среда динамического моделирования, предназначенная для компьютерного моделирования и анализа систем, поведение которых зависит от времени.

Она представляет собой интерактивную среду, находясь в которой, пользователь имеет возможность создавать компьютерную модель, запускать ее на выполнение, отлаживать, анализировать ее поведение и эволюцию во времени. Использование в пакете Simulink встроенного редактора блок схем, основанного на графическом интерфейсе пользователя и являющегося типичным средством визуально-ориентированного программирования, принципиально изменяет характер требований, предъявляемых к математическому и программному обеспечению, а также подход к построению моделей.

Схема моделирования в среде MATLAB-Simulink приведена в Приложении №4. Модель построена на основе выражений (1-7).

Массо-габаритные размеры, значения коэффициентов автомобиля и других параметров, которые были использованы при моделировании, сведены в таблицу 2, при этом использовались данные с сайта [4,5].

Таблица 2.

$S$ , м <sup>2</sup>	$\frac{S_{ш}}{S}$	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Снаряженная масса, кг	$c_y S_{ш}$ , м <sup>2</sup>	$c_x$	$\Delta c_y S_{ш}$ , м <sup>2</sup>	$g$ , м/с <sup>2</sup>
3	1/4.5	1,23	1800	0.009	0.35	0.18	9.81

Снаряженная масса автомобиля - совокупная масса машины с набором стандартного оборудования, всеми её эксплуатационными расходными материалами, которые необходимы (например, охлаждающей жидкостью и моторным маслом), полностью заправленным автомобильным топливом баком, весом водителя, но без массы груза и веса пассажиров [6].

Полная масса автомобиля - максимальная масса снаряжённого автомобиля (с топливом, водой и моторным маслом и снаряжением - запасным колесом, инструментом) с пассажирами, водителем и грузом (из расчёта 10 кг на каждое место) [6]. Полная масса автомобиля принималась 2200 кг, что соответствует автомобилю Ягуар (Jaguar) [5].

В модели учитывалось ограничение на максимально разрешенную нагрузку на крышу автомобиля, которая принималась равной 140 кг и возможность моделирования торможения на подъеме и спуске, в условиях наличия или отсутствия попутного (встречного) ветра. Процесс моделирования заканчивается в момент, когда скорость автомобиля становится равной нулю.

В Приложение №5 приведен предлагаемый алгоритм применения аэродинамического щитка. Уборка щитка производится при снятии усилия на педаль тормоза или автоматически при падении скорости до скорости 40 км/ч, поскольку эффективность щитка резко падает на малых скоростях движения. А тормозной путь  $L$ , полученный по результатам моделирования, соответствовал значениям, полученным по формуле, используемой в ГИБДД [7] на скоростях меньше 80 км/ч

$$L = \frac{V_0^2}{254 \times f},$$

где  $V_0$  - начальная скорость автомобиля перед торможением в км/ч.

#### **4. Определение эффективности применения аэродинамического щитка на легковом автомобиле по результатам вычислительного эксперимента с использованием виртуально-физического моделирования процесса торможения при различных условиях**

Для оценки эффективности применения аэродинамического щитка на легковом автомобиле проводился вычислительный эксперимент с использованием компьютерного моделирования процесса торможения в среде MATLAB-Simulink (см. Приложение №4) при различных условиях. Процесс моделирования проводился для различных значений массы (снаряженной, полной) автомобиля, скорости движения перед торможением, состояния дорожного покрытия (сухое, мокрое, грязное, обледенелое), наличия или отсутствия уклона дороги, встречного ветра. Продольный уклон по горизонтали брался максимально допустимым для скоростных магистралей - 30 ‰ (промилле) [8], что соответствует  $\theta = 1.7$  град.

Результаты вычислительного эксперимента с использованием виртуально-физического моделирования процесса торможения при различных условиях сведены в Приложении №6. В Приложении №7 приведены обобщенные результаты моделирования для начальной скорости торможения 150 км/ч. В Приложении №8 приведены графики зависимостей относительного сокращения тормозного пути  $\Delta L/L * 100$  от начальной скорости торможения и значения коэффициента сцепления при наличии и отсутствии встречного ветра, уклона дороги.

## **Заключение**

1. Предложен способ и алгоритм применения аэродинамического щитка на легковом автомобиле.
2. Получена упрощенная математическая модель процесса торможения автомобиля с использованием аэродинамического щитка.
3. Разработана компьютерная модель процесса торможения автомобиля.
4. Разработан алгоритм применения аэродинамического щитка.
5. Относительное сокращение тормозного пути пропорционально начальной скорости торможения, обратно пропорционально коэффициенту сцепления с дорогой.
6. Эффективность применения щитка растет на спуске и при встречном ветре.
7. В рассмотренной модели основной вклад в уменьшении тормозного пути играет увеличение лобового сопротивления при выпуске аэродинамического щитка, в меньшей степени - прижимная сила.
8. Применение аэродинамического щитка позволяет сократить тормозной путь от нескольких десятков сантиметров до несколько десятков метров в зависимости от условий, но даже сокращение тормозного пути на нескольких десятках сантиметров позволяет повысить безопасность дорожного движения, так как даже мелкая авария на скоростных дорогах может привести к тяжелым последствиям.
9. Дополнительные исследования связаны с использованием: специальных программ для определения аэродинамических характеристик по результатам виртуального обдува; более полной модели процесса торможения.

## Список используемых источников

1. [ГИБДД начала кампанию по борьбе с превышением скорости на 19 км в час — Российская газета \(rg.ru\)](#).
2. [Лобовое сопротивление — Википедия \(wikipedia.org\)](#).
3. [Коэффициент сцепления дорожного покрытия с колесом автомобиля \(mos.ru\)](#).
4. <https://www.drom.ru/info/misc/43517.html>.
5. [Сколько весит автомобиль Jaguar \(Ягуар\)? Справочный ресурс "Сколько весит ...?" \(skolko-vesit.ru\)](#)
6. [Что такое Снаряженная масса автомобиля \(autosoad.ru\)](#)
7. [Тормозной путь автомобиля: определение, формула, расчет \(autochainik.ru\)](#).
8. Свод правил СП 34.13330.2012. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ. СНиП 2.05.02-85\*. [Электронный ресурс], [654874087-SP 34.13330.2012.pdf \(nostroy.ru\)](#). Дата обращения 20.02.21г.

**Приложение №1. Устройство выпуска щитка на военных самолетах Су-27 и МиГ-29**

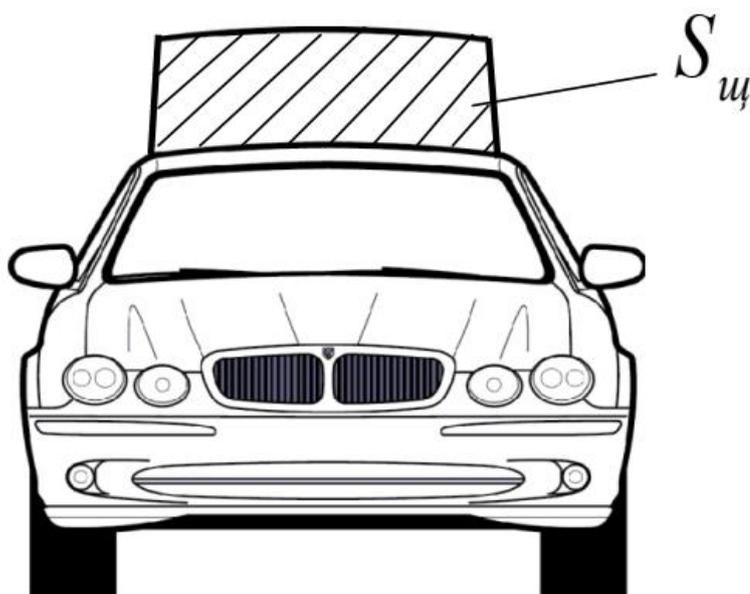
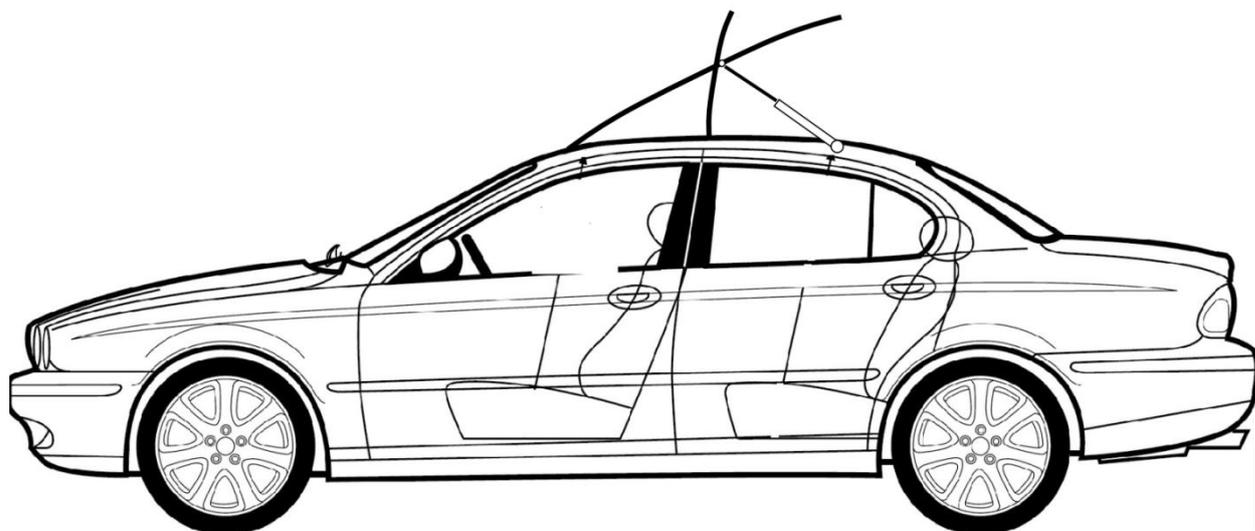


Рисунок 1.

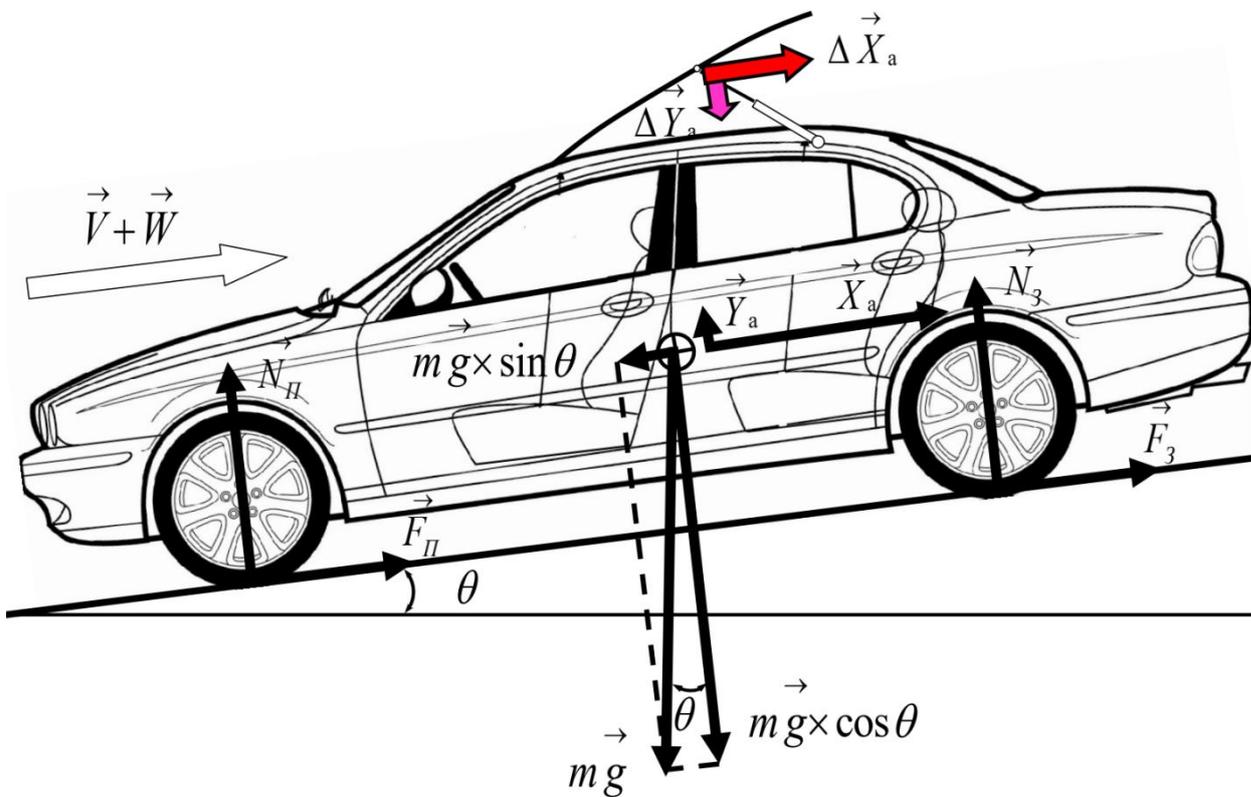


Рисунок 2.

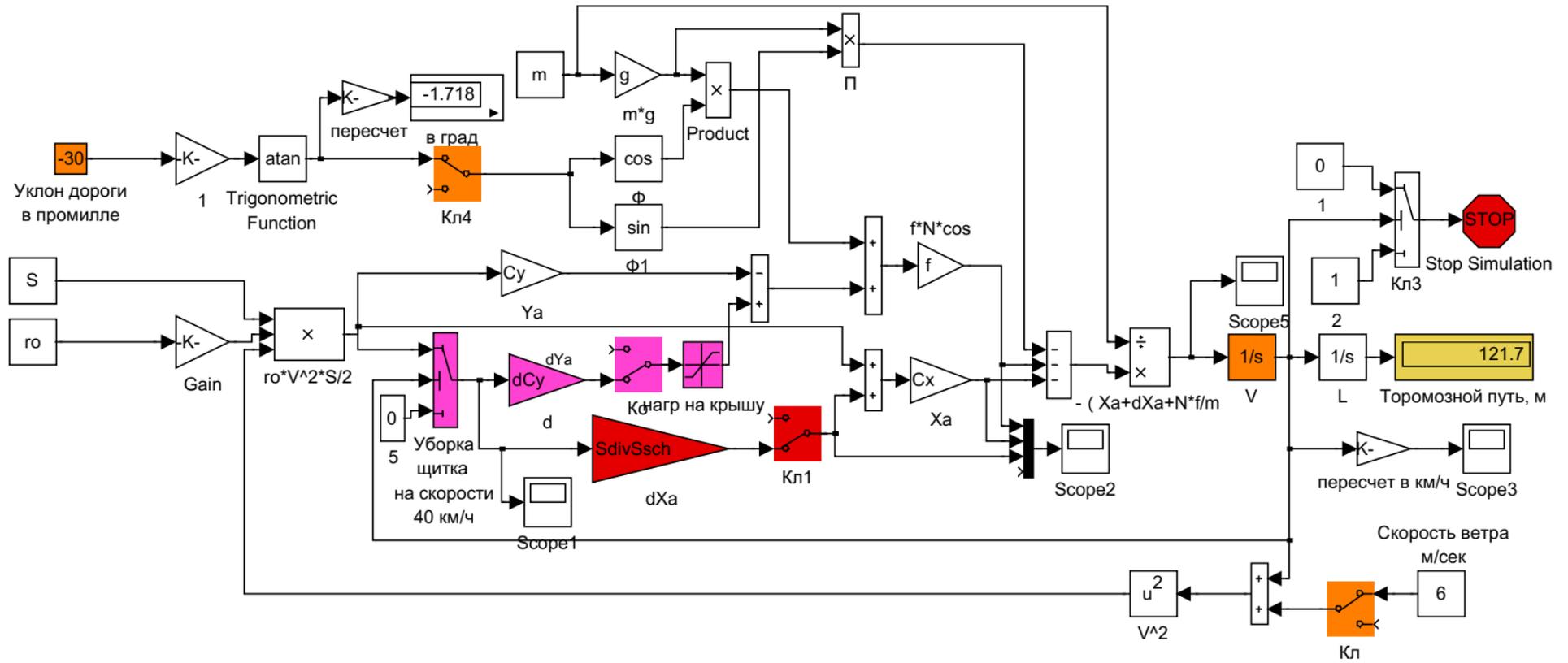
Приложение №2. Конструктивные схемы применения аэродинамического щитка на легковом автомобиле



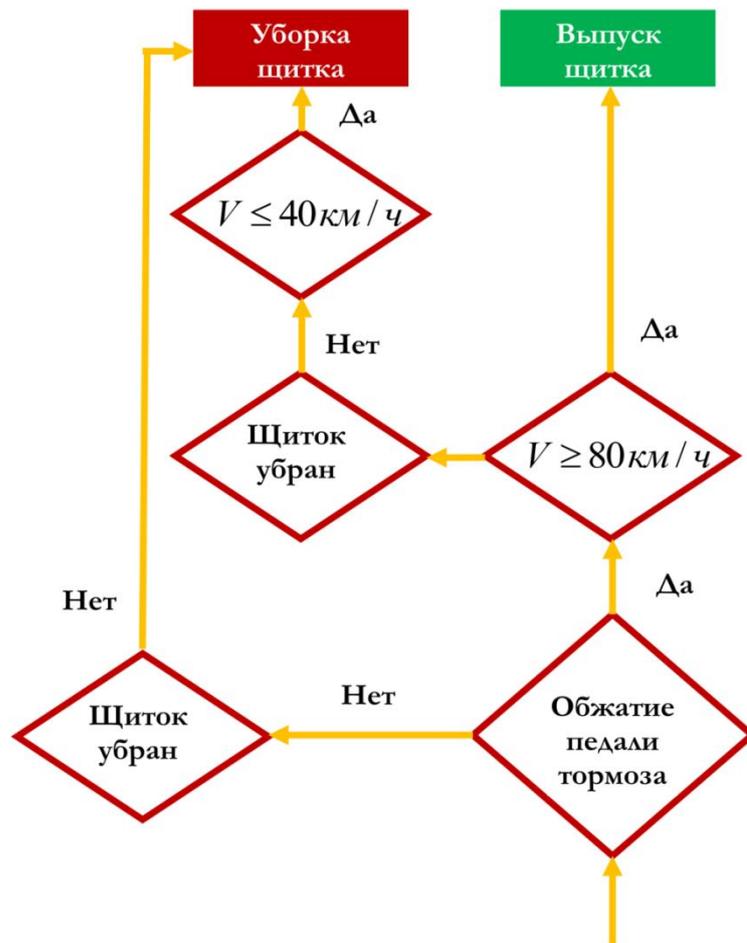
Приложение №3. Силы, действующие на автомобиль при торможении



Приложение №4. Схема моделирования процесса торможения автомобиля в среде MATLAB-Simulink



Приложение №5. Алгоритм применения аэродинамического щитка



**Приложение №6. Результаты вычислительного эксперимента**

Таблица 1. Результаты вычислительного эксперимента для снаряженной массы автомобиля (ветер, уклон дороги отсутствуют)

Коэффициент сцепления, $f$	Начальная скорость перед торможением, км/ч, $V$	Тормозной путь. Щиток убран, м $L$	Разность тормозного пути. Щиток выпущен, м	
			Без учета прижимной силы	Учет прижимной силы, макс. 1400 Н
0,7	100	55,09	0,24	0,36
	130	91,87	0,65	0,99
	150	121	1,1	1,6
	170	153,6	1,7	2,5
0,5	100	76,52	0,44	0,61
	130	127	1,2	1,7
	150	166,6	2	2,8
	170	210,6	3,2	4,3
0,25	100	149,1	1,7	2
	130	243,4	4,3	5,1
	150	315,5	7,1	8,4
	170	393,6	10,8	12,5
0,09	100	380,1	9,8	10,5
	130	592,7	22,9	24,4
	150	744,1	34,6	36,8
	170	899,2	48,6	51,3

Таблица 2. Результаты вычислительного эксперимента  
для полной массы автомобиля  
(ветер, уклон дороги отсутствуют)

Коэффициент сцепления, $f$	Начальная скорость перед торможением, км/ч	Тормозной путь, Щиток убран, м L	Разность тормозного пути, Щиток выпущен, м	
			Без учета прижимной силы	Учет прижимной силы, макс, 1400 Н
0,7	100	55,28	0,19	0,29
	130	92,41	0,54	0,82
	150	122	1,0	1,6
	170	155,1	1,5	2,1
0,5	100	76,9	0,37	0,51
	130	128	1,0	1,4
	150	168,4	1,8	2,4
	170	213,4	2,8	3,6
0,25	100	150,5	1,4	1,7
	130	247,1	3,7	4,4
	150	321,6	6,1	7,2
	170	403,1	9,5	11
0,09	100	389	8,6	9,2
	130	613,5	20,6	21,9
	150	776,3	31,9	33,9
	170	945	45,5	48,1

Таблица 3, Результаты вычислительного эксперимента  
 для снаряженной массы автомобиля  
 (встречный ветер 6 м/с, уклон дороги отсутствует)

Коэффициент сцепления, $f$	Начальная скорость перед торможением, км/ч	Тормозной путь, Щиток убран, м L	Разность тормозного пути, Щиток выпущен, м	
			Без учета прижимной силы, b	Учет прижимной силы, макс, 1400 Н, d
0,7	100	54,38	0,37	0,57
	130	90,41	0,92	1,37
	150	118,9	1,5	2,1
	170	150,6	2,3	3,1
0,5	100	75,16	0,69	0,95
	130	124,2	1,7	2,3
	150	162,6	2,8	3,6
	170	205,1	4,2	5,4
0,25	100	144	2,4	2,9
	130	233,6	5,9	6,9
	150	301,6	9,1	10,5
	170	374,9	13,2	15
0,09	100	349,7	13,2	14,1
	130	539,5	27,7	29,2
	150	673,9	39,8	42
	170	811,4	53,8	56,4

Таблица 4, Результаты вычислительного эксперимента  
 для снаряженной массы автомобиля  
 (отрицательный уклон дороги 30 ‰ (промилле), ветер отсутствует)

Коэффициент сцепления, $f$	Начальная скорость перед торможением, км/ч	Тормозной путь, Щиток убран, м L	Разность тормозного пути, Щиток выпущен, м	
			Без учета прижимной силы, b	Учет прижимной силы, макс, 1400 Н, d
0,7	100	57,53	0,25	0,39
	130	95,89	0,7	1,08
	150	126,3	1,2	1,8
	170	160,2	1,9	2,8
0,5	100	81,31	0,5	0,69
	130	134,8	1,4	1,9
	150	176,7	2,3	3,1
	170	223,2	3,7	4,9
0,25	100	168,3	2,1	2,5
	130	273,6	5,4	6,4
	150	353,6	8,8	10,2
	170	439,8	13,4	15,4
0,09	100	537,5	18,6	19,9
	130	815,6	40,5	43,1
	150	999	53,9	57,3
	170	1171	67	71

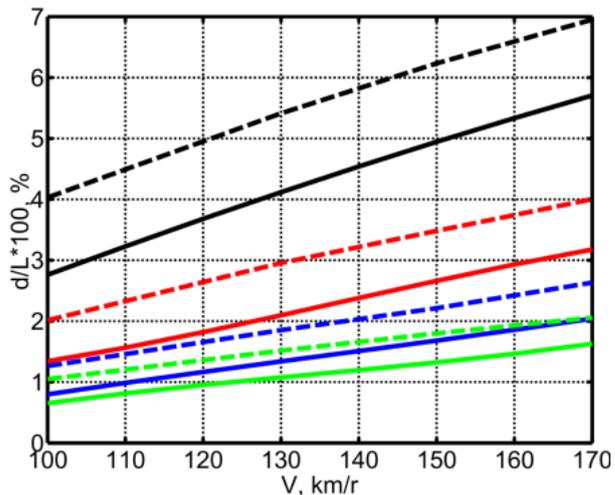
**Приложение №7. Результаты вычислительного эксперимента. Эффективность применения щитка при начальной скорости торможения 150 км/ч, исследование влияния прижимной силы щитка**

**Начальная скорость 150 км/ч**

сухой асфальт		-1,6 м	щиток ON + dY
		-1,1 м	щиток ON
		121 м	щиток OFF
мокрый асфальт		-2,8 м	щиток ON + dY
		-2 м	щиток ON
		166,6 м	щиток OFF
грязный асфальт		-8,4 м	щиток ON + dY
		-7,1 м	щиток ON
		315,5 м	щиток OFF
гололед		-36,8 м	щиток ON + dY
		-34,6 м	щиток ON
		744,1 м	щиток OFF

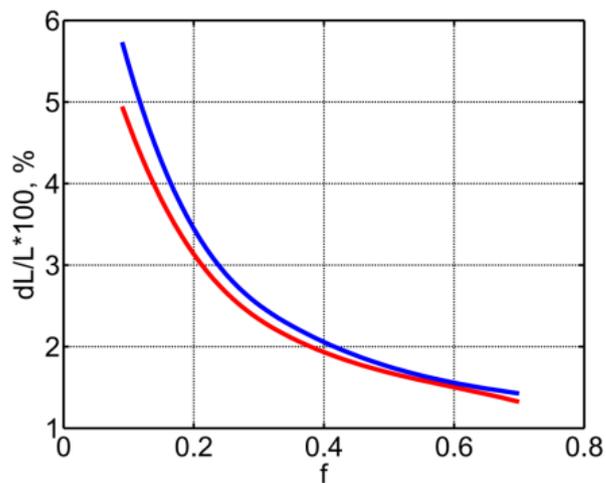
**Приложение №8. Результаты вычислительного эксперимента. Влияние начальной скорости торможения, наличия встречного ветра, уклона дороги и значения коэффициента сцепления на величину относительного сокращения тормозного пути**

**Влияние скорости и встречного ветра**



- -гололед
  - -грязный асфальт
  - -мокрый асфальт
  - -сухой асфальт
- $W=6 \text{ м/с}$

**Влияние спуска дороги**



- уклон дороги отсутствует
- уклон дороги – 1,7 град

Пунктиром отображены зависимости при наличии встречного ветра  
 ( $d = \Delta L$  - сокращение тормозного пути, вызванное применением щитка)