

working surfaces, laser processing

## **ПОДЪЁМНАЯ СИЛА – ПРОБЛЕМА АВТОМОБИЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИКИ**

*Е. В. Королев, к.т.н., профессор кафедры «Тракторы и автомобили» ГБОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт»;*

*Р. Р. Жамалов, аспирант кафедры «Тракторы и автомобили» ГБОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт»;*

*А. М. Лопоткин, аспирант кафедры «Тракторы и автомобили» ГБОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт».*

**Аннотация.** Представлены результаты испытаний в аэродинамической трубе масштабных моделей легковых автомобилей с переменными значениями габаритных размеров – ширины и длины. Определены зависимости величины подъемной силы от изменения габаритных размеров моделей.

**Ключевые слова:** коэффициент подъемной силы, модели, масштаб, легковой автомобиль, весовая нагрузка, габаритные размеры, аэродинамическая труба, зависимости, коэффициент размаха.

Аэродинамика, наука являющаяся частью теоретической механики, изучает законы движения воздуха в зависимости от действующих сил и на их основе устанавливает частные законы взаимодействия между воздухом и движущимся в нем твердым телом. Аэродинамика автомо-

бия изучает взаимодействие воздуха и движущегося в нем автомобиля. В зависимости от решаемых задач аэродинамика автомобиля делится на внешнюю и внутреннюю. Внешняя аэродинамика исследует аэродинамические характеристики, зависящие в первую очередь от формы кузова автомобиля. Аэродинамика как наука развивается в двух направлениях: экспериментальном и теоретическом. Аэродинамика автомобиля является относительно молодой наукой и опирается на опыт и знания авиационной аэродинамики. Но созданию теоретических расчетов для определения аэродинамических характеристик автомобилей уже на ранней стадии их проектирования препятствуют различия многофакторного характера между хорошо обтекаемыми (объекты испытаний авиационной аэродинамики) и плохообтекаемыми телами (автомобили). Для автомобиля величина аэродинамического сопротивления определяется в основном силами давления. При этом нужно учитывать влияние опорной поверхности особенно на величину и направление подъемной силы. Поэтому при проектировании автомобилей используют чаще экспериментальные методы, а расчетные применяют при решении частных, локальных задач.

Задача уменьшения аэродинамического сопротивления является важнейшей и ставилась перед исследователями на раннем этапе развития автомобильной аэродинамики с целью увеличения максимальной скорости движения, затем акцент сместился в сторону снижения расхода топлива.

Изучение подъемной силы, действующей на автомобиль на более позднем этапе, диктовалось повышением безопасности движения, в частности устойчивости. Но есть и другая причина, по которой следует изучать углублено механизм возникновения подъемной силы.

В состав аэродинамического сопротивления легко-

вого автомобиля входит как его составляющая индуктивное сопротивление. Величина индуктивного сопротивления напрямую связана с квадратом величины подъемной силы. По этой причине необходим расчетный метод определения подъемной силы уже на стадии проектирования кузова автомобиля. Многие исследователи отмечают тот факт, что трудно предсказать не только величину подъемной силы, но и ее направление.

Опубликованная русским ученым Н.Е. Жуковским в 1906 году теорема о подъемной силе крыла является основой всей теоретической аэродинамики.

Величина подъемной силы, действующей на автомобиль, значительно меньше, чем у самолета, и не имеет такого жизненно важного значения. Но скос воздушного потока вблизи автомобиля значителен и, следовательно, индуктивным сопротивлением, с ним связанным, нельзя пренебрегать. Величина скоса воздушного потока определяется наличием следующих факторов:

-большой высотой объекта или по-авиационному «выпуклостью»;

- влиянием сил давления, например, существует разность давлений воздуха над и под автомобилем;

- присутствием опорной поверхности;

-влиянием отрывных течений;

-влиянием сбегających с автомобиля вихревых жгутов;

-пониженным давлением в ближнем следе спутной струи за автомобилем;

-влиянием соотношения ширины автомобиля к его длине.

В данной статье анализируются результаты аэродинамического эксперимента с масштабными моделями легковых автомобилей. Модели в ходе проведения эксперимента в аэродинамической трубе изменяли основные

габаритные размеры – ширину и длину. Целью испытаний являлось определение закономерностей изменения подъемной аэродинамической силы, что позволит иметь в дальнейшем предпосылки для создания расчетного метода.

**Анализ результатов экспериментов с масштабными моделями автомобилей переменной ширины.** Масштабные модели (**К**, **К-15** и **ПШ**) – продукты в аэродинамической трубе Казанского государственного технического университета в разное время.

Модель **К** имела профильное сечение, тождественное автомобилю ВАЗ-2108, но плоские вертикальные боковые поверхности. Модель выполнена из дерева, не имела колес. Коэффициент размаха  $\lambda$ , равный отношению ширины к длине, изменялся в пределах от 0,125 до 0,75.

Модель **К-15** имела ту же форму, но угол наклона задней части крыши составлял 15 градусов. Коэффициент размаха изменялся в тех же пределах.

Модель **ПШ** имела профильное сечение, тождественное форме автомобиля ВАЗ-21099. Материал модели – формованный пластик. Колеса отсутствовали. Коэффициент размаха  $\lambda$  изменялся в более широких пределах – 0,1...1,28. По форме модель **К** следует отнести к автомобилю с кузовом хэтчбек, модель **К-15** с кузовом фастбек, а модель **ПШ** – седан. Передние части моделей имели тождественную форму, что позволяет выявить влияние задней части на аэродинамические характеристики. Разная форма задней части моделей предполагает наличие разных режимов их обтекания воздушным потоком. Модели выполнены в одном масштабе – 1: 5. Для возможности сравнения весовых нагрузок на модель скорость продувки была постоянной. Подъемная сила с увеличением ширины модели легкового автомобиля уменьшается (рис. 1). Для всех моделей на передние оси (рис. 2) действует прижимающая сила, на задние – подъемная (рис. 3). При длине модели,

превышающей действительную, характер изменения величины коэффициента подъемной силы близок к линейному. Так как объекты испытаний имели разные режимы обтекания, то следует вывод о независимости этого характера от внешней формы. Характер изменения подъемной силы зависит только от габаритных размеров.

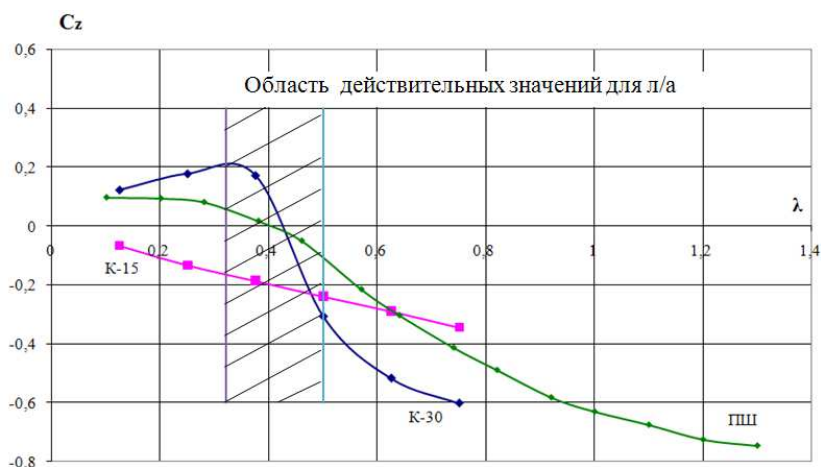


Рис. 1. Зависимость величины коэффициента подъемной силы при изменении коэффициента размаха  $\lambda$  модели

Графическую зависимость величины коэффициента подъемной силы  $C_z$  от изменения ширины модели можно разбить на три участка:

- 1-ый, когда значения ширины моделей меньше реальных;
- 2-ой, когда диапазон изменения ширины моделей соответствует реальным автомобилям;
- 3-ий, когда ширина моделей превышает реальные размеры.

Именно на втором участке при изменении ширины моделей характер изменения подъемной силы не однозначный. Возможна смена знаков у коэффициента подъем-

НОЙ СИЛЫ.

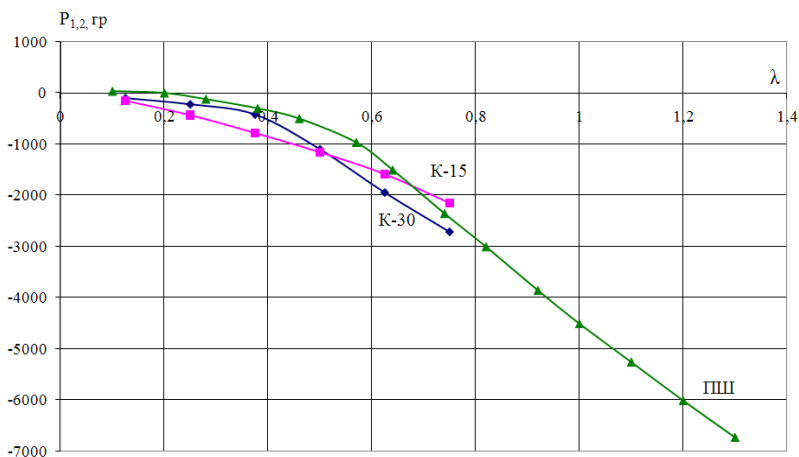


Рис. 2. Изменение весовой нагрузки на передней части модели

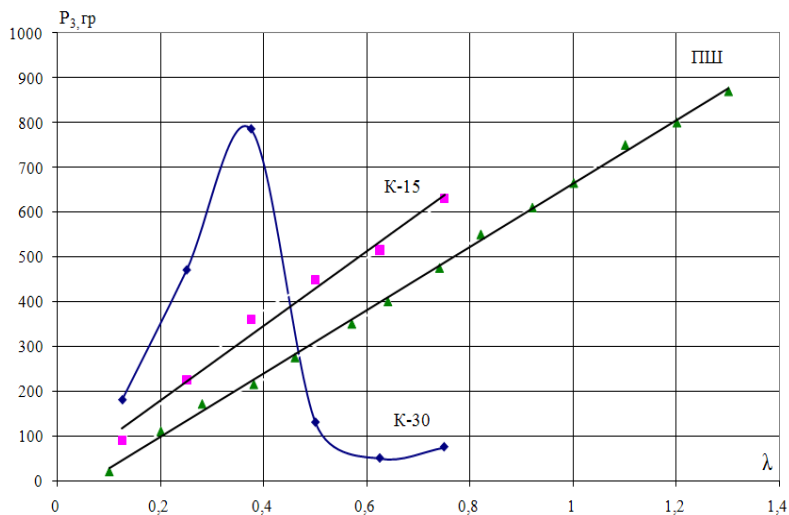


Рис. 3. Изменение весовой нагрузки на задней части модели

Кстати смена знаков наблюдается и при изменении величины дорожного просвета в реальном диапазоне его значения для легковых автомобилей. Именно на втором участке при изменении ширины моделей характер изменения подъемной силы не однозначный. Возможна смена знаков у коэффициента подъемной силы. Кстати смена знаков наблюдается и при изменении величины дорожного просвета в реальном диапазоне его значения для легковых автомобилей. Все это объясняет сложность ее определения, в первую очередь расчетного. Анализ весовых нагрузок, действующих условно на передние и задние оси автомобилей, показывает, что в этом диапазоне их величины равны, но направление действий противоположны. Величина коэффициента подъемной силы мала, как малы и весовые нагрузки на осях. При дальнейшем увеличении ширины моделей характер изменения весовых нагрузок стабилизируется, становится более линейным. Это указывает на ослабление роли боковых вихревых жгутов – доля воздушных потоков, обтекающих профиль растет, доля боковых уменьшается. Характер поведения величины весовой нагрузки, действующей на переднюю часть всех моделей тождественен – весовая нагрузка на передней оси с увеличением ширины растет как прижимная сила. Весовая нагрузка в задней части моделей **К-15** и **ПШ** изменяется практически линейно как подъемная сила. Для модели **К** изменение весовой нагрузки в задней части более сложное, так как модель имеет практически нестационарный режим обтекания. Модель **К -15** имеет двумерное обтекание, безотрывное в задней части и как следствие этого линейный характер изменения величины коэффициента подъемной силы. Таким образом, исследование механизма обтекания задней части автомобиля может привести к расчетному определению подъемной силы. У модели **К-15** точка отрыва верхнего воздушного потока находится на нижней

кромке заднего стекла, самой удаленной вниз по потоку. Высота и объем спутного следа минимальны при данной длине модели. Модель **ПШ** имеет отрыв на изломе крыши. Высота и объем спутного следа максимальны при этой длине модели, что увеличивает подъемную силу, действующую на заднюю часть.

Для модели **К** с увеличением ширины уменьшается влияние сбегających вихревых жгутов и весовая нагрузка на задней части падает.

Весовая нагрузка на задней части модели **К-15** больше, чем у модели **ПШ**.

Для модели **К** при  $\lambda=0,375$  велико напряжение задних вихрей, наблюдается не стационарный режим обтекания, что «раскачивает» подъемную силу. Это объясняет скачок и величину весовой нагрузки задней части.

**Анализ результатов экспериментов с масштабными моделями автомобилей переменной длины.** Проанализируем результаты испытаний в аэродинамической трубе КГТУ масштабных моделей **860** и **R**. Модель **860** изготовлена из пластилина, ширина и высота соответствовали в масштабе 1:5 реальным значениям автомобилей класса С. На модели установлены колеса. Боковые поверхности – плоские с углом к вертикали примерно 10 градусов. Величина коэффициента размаха изменялась в пределах от 0,25 до 0,455 при переменной длине задней части модели. Угол наклона задней наклонной части крыши имел постоянную величину – 14 градусов. Угол наклона лобового стекла изменялся дискретно в пределах от 44,5 градусов до 57,5.

Угол наклона лобового стекла измерен относительно вертикали. Форма передней части модели – однообъемная, т. е. без изломов в нижней части лобового стекла.

Модель **R** изготовлена из дерева, сменные перед-



ние и задние элементы – из пластика. Один передний элемент повторял форму передней части легкового автомобиля ВАЗ-2108, чтобы привязать полученные результаты к ранее испытанным моделям. Другие передние элементы имели внешнюю форму, с изменением перераспределительной функции. Одни элементы увеличивали долю боковых воздушных потоков, другие верхнего. Базовая модель имела габаритные размеры, тождественные моделям **К** и **К-15**, но с углом наклона задней части крыши 22 градуса. Величина коэффициента размаха при установке на модель сменных задних элементов изменялась от 0,161 до 0,385. Меньшая величина коэффициента соответствует максимальной длине модели с углом наклонной задней части – 10 градусов. Большая – с углом 22 градуса и длиной соответствующей моделям **К** и **К-15**.

Модель имела максимальную длину при углах наклона задней части – 10, 14,18 и 22 градуса. При максимальной длине модель не имела донной вертикальной стенки. Модель с углом 22 градуса имела 5 дополнительных задних элементов, изменяющих ее длину.

Максимальный диапазон изменения длины модели необходим:

- для определения донного сопротивления;
- для определения составляющих индуктивного сопротивления.

Величина индуктивного сопротивления зависит от величины подъемной силы. Проанализируем результаты испытаний.

В диапазоне реальных значений длины легкового автомобиля (рис. 4) наблюдается практически линейный характер изменения подъемной силы.

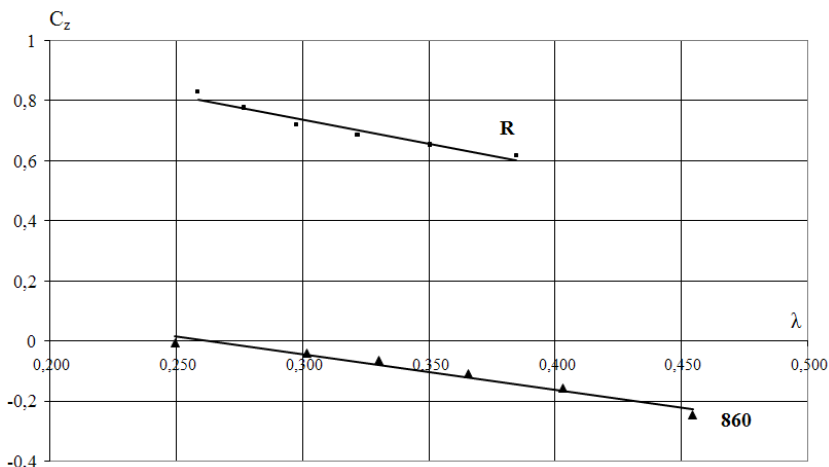


Рис. 4. Изменение коэффициента силы модели переменной длины

Для модели **860** с увеличением длины происходит рост подъемной силы. У модели **R** величина коэффициента подъемной силы  $C_z$  линейно уменьшается с небольшим градиентом. Нужно учитывать при анализе характер обтекания задней части моделей. У модели **R** верхний воздушный поток имеет отрыв в месте перехода плоской поверхности крыши к наклонной задней части, затем наблюдается присоединение его и вторичный отрыв с нижней грани. Присоединение оторвавшегося верхнего потока к плоскости крыши происходит за счет вертикальных индуцированных вихревыми жгутами скоростей.

У модели **860** режим обтекания задней части иной. Отрывного течения верхнего потока в зоне перелома крыши не наблюдается, и он повторяет угол наклона задней части. Напряжение сбегаящих вихрей очень мало. Режим обтекания модели **860** носит двумерный характер. При дальнейшем увеличении длины моделей происходит рост подъемной силы, а затем ее величина практически постоянна.

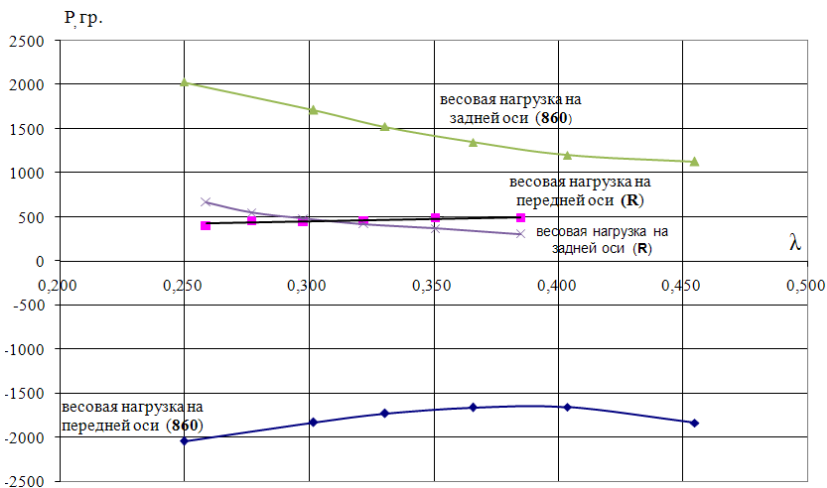


Рис. 5. Изменение весовой нагрузки модели переменной длин

Анализ зависимости перераспределения весовых нагрузок на осях моделей от длины (рис. 5) указывает на более существенное влияние подъемной силы, действующей на заднюю часть, чем на переднюю. Подъемная сила на передней оси практически постоянна по величине. Подъемная сила на задней оси определяет характер изменения величины коэффициента подъемной силы  $C_z$ .

**Основные выводы.** Сложность создания расчетного метода определения подъемной силы легкового автомобиля заключается в многофакторности задачи. Необходимо учитывать смену знаков в диапазоне реальных значений величин дорожного просвета и соотношения ширины к длине. Следует учитывать наличие разных режимов, их смену (например, при изменении угла наклона задней части крыши автомобиля). Также необходимо учитывать влияние распределительной функции передней части автомобиля (например, изменения высоты капота, углов наклона капота и лобового стекла).

## ELEVATING FORCE IS THE PROBLEM OF AUTOMOBILE AERODYNAMICS

*E. V. Korolev, the candidate of technical sciences, the professor of the chair «Tractors and cars», NGIEI;*

*R. R. Zhamalov, the post-graduate student of the chair «Tractors and cars», NGIEI;*

*A. M. Lopotkin, the post-graduate student of the chair «Tractors and cars», NGIEI.*

**Annotation.** Results of tests in a wind tunnel of scaled models of cars with variable values of overall dimensions, which are width and lengths, are presented. Dependences of size of elevating force on variation of overall dimensions of models are certain.

**Keywords:** factor of elevating force, model, scale, the car, a weight load, overall dimensions, a wind tunnel, dependences, factor of scope.

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕЙ ЧАСТИ МАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ НА ЕЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

*E. V. Korolev, к.т.н., профессор кафедры «Тракторы и автомобили» ГБОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно – экономический институт»;*

*A. И. Котин, аспирант кафедры «Тракторы и автомобили» ГБОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно - экономический институт».*

**Аннотация.** По результатам параметрических исследований масштабных моделей легковых автомобилей в аэродинамической трубе определено влияние высоты капота и углов наклона облицовки радиатора, капота, лобо-