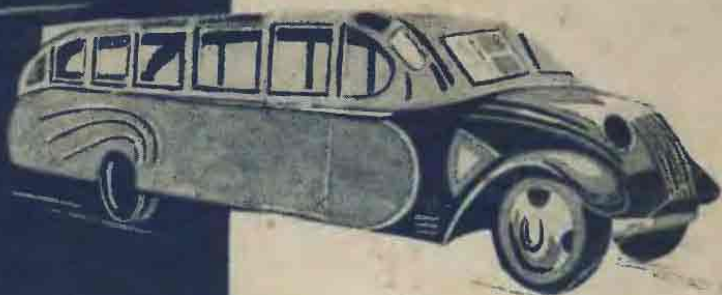
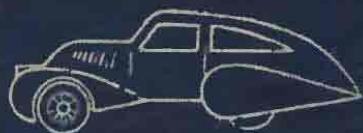


ИНЖ. А. И. НИКИТИН

ИССЛЕДОВАНИЯ
ОБТЕКАЕМОСТИ
АВТОМОБИЛЯ



ОНТИ • НКТП • СССР • 1936



Инж. А. И. НИКИТИН

Адъюнкт Военной академии механизации
и моторизации РККА им. Сталина

ИССЛЕДОВАНИЯ ОБТЕКАЕМОСТИ АВТОМОБИЛЯ



ОНИ — НКТП — СССР

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1936 ЛЕНИНГРАД

ПРЕДИСЛОВИЕ

При общем усовершенствовании и развитии конструкции современного автомобиля наиболее четким и определенным является развитие обтекаемых кузовов.

В этой области проведено довольно большое количество экспериментальных работ, систематическому изложению которых автор и уделил в настоящей книге главное внимание.

Наиболее интересными и содержательными работами являются опыты американского профессора Lau, французского инж. Andreau и исследование американского инж. G. Reid.

Работа этих экспериментаторов освещена наиболее полно. Также изложена и работа автора по исследованию обтекаемости на автомобилях отечественного производства ГАЗ-А, выполненная автором в качестве адъюнктской работы по кафедре автомобилей Военной академии механизации и моторизации РККА им. Сталина.

Изложению результатов аэродинамических испытаний автомобилей и их моделей предпосылается глава об основных положениях аэродинамики.

От небольшой главы нельзя ждать исчерпывающего изложения аэродинамики. Цель этой главы ввести читателя в круг понятий, с которыми приходится сталкиваться при изучении сопротивления воздуха движущемуся в нем телу. Если читатель уяснит, что сопротивление складывается из трения в пограничном слое и вихревого сопротивления и поймет сущность происходящих при этом явлений, мы будем считать нашу цель достигнутой.

Вопрос о влиянии обтекаемости на динамику и экономику автомобиля разобран на примере двух автомобилей: большого легкового автомобиля типа Бюик и малого автомобиля типа ГАЗ-А.

В качестве обязательного условия, для лучшего использования мощности двигателя, ставится применение в обтекаемых

автомобилях дополнительной передачи с передаточным числом меньшим единицы. Современное состояние конструкции двигателей не позволяет решить эту задачу иначе.

В главе о конструкции обтекаемых автомобилей рассмотрены как опытные образцы, так и автомобили массового производства. Подробно рассмотрена конструкция автомобиля Крейслер 1934 г. Этот автомобиль, наряду с лучшей обтекаемостью, внес новое в автомобилестроение в отношении конструкции каркаса кузова, а также в отношении распределения веса, связанного с повышением комфортабельности.

Опытные образцы представляют интерес не только с точки зрения новых внешних форм самого кузова, но и конструкции шасси. В этой области следует ожидать появления оригинальных конструкций и в дальнейшем.

Считаю своим долгом выразить благодарность инж. М. Д. Миллионщикову за ряд указаний по теоретическим вопросам аэродинамики.

Автор

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ АЭРОДИНАМИКИ

Аэродинамика занимается изучением движения воздуха и реакции его на постороннее твердое тело. В частности, сопротивление воздуха движущимся в нем телам — самолетам, автомобилям, поездам и т. д. является предметом изучения аэродинамики.

Мы остановимся только на этом частном вопросе и разъясним, какие явления происходят при обтекании тела воздухом и от каких факторов зависит сопротивление движению.

Ньютон, объясняя сопротивление воздуха, считал, что воздух состоит из отдельных частиц; эти частицы, ударяясь о переднюю часть тела, задерживают его, создают сопротивление.

Он вычислил, что величина сопротивления при этом равна

$$P = \rho S v^2, \quad (1)$$

где ρ — плотность воздуха;
 S — площадь миделевого сечения;
 v — скорость движения тела.

Проверка формулы Ньютона экспериментальным путем показала, что она дает результаты, расходящиеся с опытом. Оказывается, что сопротивление тел зависит не только от их величины, но и от формы. Различные по форме тела одинакового миделевого сечения дают различные сопротивления. Теория Ньютона не могла объяснить этого обстоятельства. Ошибка заключается в том, что в действительности происходит не удар частиц воздуха о тело, а получается явление более или менее плавного обтекания.

По другому направлению пошел Эйлер. Он сделал предположение, что воздух является сплошной средой, непрерывно заполняющей пространство. По Эйлеру при движении воздуха в нем совершенно не возникает внутреннего трения, иначе говоря воздух рассматривается, как идеальная, лишенная трения (вязкости), жидкость.

Если воспользоваться теорией Эйлера и вычислить сопротивление движению тела, плавно обтекаемого воздухом, то окажется, что это сопротивление равно нулю. Этот вывод расходится с экспериментом; следовательно, теорией Эйлера нельзя пользоваться при решении интересующего нас вопроса. Правда,

имеются другие методы расчета, выработанные в более позднее время, которые в некоторых случаях позволяют вычислять сопротивление движению для случая идеальной жидкости. Но результаты их значительно расходятся с экспериментальными данными и, следовательно, не представляют практического интереса.

Современные взгляды при решении вопроса о сопротивлении воздуха базируются на понятии вязкости. При движении воздуха получается взаимодействие между отдельными частицами, вызывающее силу внутреннего трения. Остановимся на разъяснении формулы Ньютона, определяющей величину этой силы.

Пусть жидкость движется параллельно некоторой оси x так, чтобы по мере удаления от этой оси скорость ее возрастала по закону прямолинейного движения. Такое движение жидкости можно себе представить если допустить, что жидкость состоит из отдельных слоев, скользящих друг по другу подобно листам бумаги. При этом между соседними слоями возникает трение, величину которого Ньютон принял прямо пропорциональной разности скоростей между слоями и обратно пропорциональной расстоянию между ними, т. е.

$$\frac{v_1 - v_2}{h},$$

где: h — расстояние между движущимися слоями жидкости;
 $v_1 - v_2$ — скорости движения слоев.

Если обозначить величину трения на единицу площади (напряжение сил трения) через τ и ввести коэффициент пропорциональности, то на основании сказанного можно написать:

$$\tau = \mu \cdot \frac{v_1 - v_2}{h}. \quad (2)$$

Однако эта формула верна только для случая прямолинейного закона распределения скоростей. В общем случае мы должны брать слои, лежащие не на конечном расстоянии h друг от друга, а на бесконечно малом Δh . При этом скорости будут отличаться также на бесконечно малую величину Δv . Тогда формула (2) получит следующий вид:

$$\tau = \mu \cdot \frac{\Delta v}{\Delta h}.$$

Переходя к пределу при $\Delta h \rightarrow 0$ и учитывая, что скорость вообще говоря зависит не только от h , но и от других величин (например от абсциссы x), запишем предел отношения $\frac{\Delta v}{\Delta h}$ при $\Delta h \rightarrow 0$ в виде частной производной $\frac{\partial v}{\partial h}$, тогда получим окончательно формулу вязкости в виде

$$\tau = \mu \cdot \frac{\partial v}{\partial h}. \quad (3)$$

Коэффициент μ называется коэффициентом абсолютной вязкости. Он различен для различных жидкостей и меняется с температурой. Для воздуха при $t = 15^\circ \text{C}$ $\mu = 0,00018$. Для воды $\mu = 0,01$.

Мы видим, что абсолютный коэффициент вязкости воздуха значительно меньше абсолютного коэффициента вязкости воды. Но в ряд важных соотношений вязкой жидкости входит не μ , а отношение его к массовой плотности ρ , которое обозначается греческой буквой ν , т. е.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (4)$$

Этот коэффициент играет чрезвычайно большую роль и носит название коэффициента кинематической вязкости. Здесь, вследствие незначительной плотности воздуха, получается обратная картина: кинематическая вязкость воздуха оказывается в 7,5 раз больше кинематической вязкости воды.

Необходимо отметить, что сила вязкости проявляется не во всем объеме жидкости, а только в тонком слое, непосредственно прилегающем к телу. Этот тонкий слой воздуха прилипает к поверхности тела; следующий слой скользит по нему с небольшой скоростью; третий слой с несколько большей и т. д. Таким образом происходит возрастание скорости скольжения от слоя к слою.

Как мы уже знаем, величина внутреннего трения пропорциональна этому возрастанию скорости, но как показывают наблюдения скорость очень быстро растет в тонком слое жидкости, непосредственно прилегающей к телу. В нем она почти достигает скорости вне слоя. Возрастание скорости вне слоя незначительно. Ясно поэтому, что и внутреннее трение велико только в этом пограничном слое. В остальной массе воздух можно рассматривать как идеальную среду, лишенную вязкости.

Какое действие оказывает трение в пограничном слое? В пограничном слое происходит потеря энергии движущегося тела. Следовательно, наличие пограничного слоя является причиной сопротивления воздуха телу.

До сих пор удалось вычислить потерю энергии в пограничном слое только для очень ограниченного числа тел: плоской пластинки, установленной по потоку, и для тела вращения (форма дирижабля). Результаты вычислений близко совпадают с экспериментальными данными. Но только для тонкой плоской пластинки и дирижаблей, установленных по потоку, практически все сопротивление вызывается трением в пограничном слое, или иначе говоря поверхностным трением.

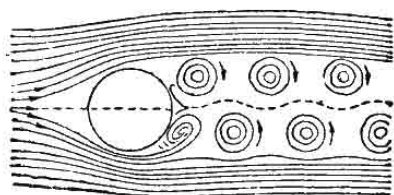
Другие тела (например цилиндр) испытывают со стороны воздуха большее сопротивление, чем трение в пограничном слое.

Чем объяснить это дополнительное сопротивление? Наблюдения показывают, что за цилиндром или за пластинкой, установленными поперек потока или под углом к нему, наблюдается образование вихрей, т. е. отдельные части воздуха (или воды) получают вихревое вращательное движение (фиг. 1 и 2).

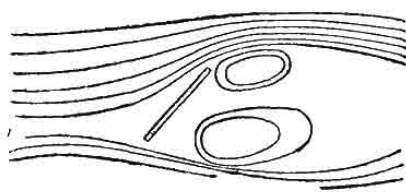
Вихри движутся за телом в правильном шахматном порядке, располагаясь в двух параллельных рядах. Вычисления показывают, что эти вихри и вызывают дополнительное сопротивление. Физически это обстоятельство можно объяснить так: на образование вращательного движения расходуется энергия.

Энергия забирается у тела при отрыве вихрей. Суммарное действие всех срывающихся вихрей сводится к некоторой силе сопротивления.

Таким образом все сопротивление воздуха складывается из двух слагаемых: трения в пограничном слое и вихревого сопро-

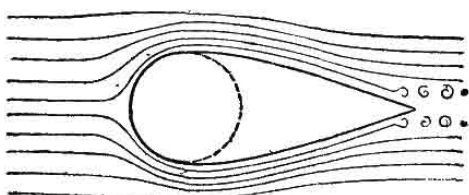


Фиг. 1. Вихревая улица.



Фиг. 2. Образование вихрей за косо поставленной по отношению потока пластинкой.

тивления. Доказано, что вихревое сопротивление тем больше, чем шире вихревая улица из двух рядов вихрей, образующихся за телом. Эта последняя ширина зависит в свою очередь от формы тела. Чем более обтекаемая плавная форма тела, тем позднее происходит отрыв вихрей и уже получается вихревая улица. У дирижаблей, например, срыв вихрей не наблюдается совершенно, в то время как у цилиндра вихри срываются, вихревая улица широкая, и следовательно, значительно вихревое сопротивление.



Фиг. 3. Вихревая улица за цилиндром с обтекателем.

Если на этот же цилиндр поставить обтекатель (фиг. 3), то срыв вихрей будет наступать позднее, вихревая улица суживается и сопротивление понижается. Как мы видим, вихревая теория объясняет, почему тела различной формы

дают различное сопротивление. Величина вихревого сопротивления зависит в первую очередь от формы тела; это сопротивление называют еще сопротивлением формы. С целью уменьшения вихревого сопротивления современным самолетам, автомобилям, поездам и т. д. придают плавное очертание, или, иначе говоря, обтекаемую форму.

Говоря о происхождении поверхностного трения, мы считаем, что воздух движется правильными слоями, скользящими друг относительно друга. Это так называемое ламинарное движение. В действительности ламинарное движение наблюда-

ется довольно редко. Гораздо чаще приходится иметь дело с беспорядочным движением воздуха: частицы воздуха переходят из одного слоя в другой, происходит беспорядочное перемешивание частиц, движущихся с различными скоростями. Такое движение воздуха называется турбулентным.

Явления, происходящие при турбулентном движении, настолько сложны, что еще до сих пор нет стройной теории турбулентности. Однако экспериментальным путем установлен ряд важных фактов.

Если жидкость движется в трубе и при этом имеет место турбулентный режим, то потеря энергии жидкости значительно больше, чем при ламинарном движении. Это объясняется тем, что к обычному ньютоновскому трению (вязкости) добавляется так называемая турбулентная вязкость, т. е. потеря энергии при перемешивании частиц. Точно так же, если в пограничном слое будет турбулентное течение, то поверхностное трение будет больше, чем при ламинарном течении.

Наблюдались случаи, когда турбулентность уменьшает сопротивление. Например при движении цилиндра, на котором пограничный слой ламинарный, сопротивление больше, чем у цилиндра с турбулентным пограничным слоем. Казалось бы, что должно быть наоборот. Объясняется это явление тем, что при ламинарном пограничном слое отрыв вихрей происходит раньше, чем при турбулентном. Турбулентный пограничный слой полнее охватывает цилиндр. Поэтому вихревая улица при турбулентном пограничном слое уже, чем при ламинарном, а следовательно, меньше вихревое сопротивление; поэтому несмотря на увеличение поверхностного трения общее сопротивление уменьшается. Таким образом турбулентность потока изменяет величину лобового сопротивления.

Мы уже указывали, что при обтекании тел воздухом возникают сложные явления: трение в пограничном слое, образование вихрей.

Поэтому подсчитать теоретически лобовое сопротивление различных тел не удастся и приходится прибегать к экспериментам.

При экспериментальном изучении вопросов аэродинамики пользуются моделями тел, сопротивление которых желательно изучить. Эти модели устанавливаются в трубе на специальных аэродинамических весах, служащих для измерения аэродинамических сил. Воздух засасывается в трубу вентилятором и обдувает модель. На фиг. 4 представлен разрез аэродинамической трубы.

Модель отклоняется от первоначального положения и на весах определяется это отклонение. При помощи нагрузки весы снова устанавливаются в нулевое положение. Величина нагрузки на весах дает лобовое сопротивление модели. Одновременно замеряется скорость движения воздуха в трубе при помощи трубки Пито или микроманометра.

Результаты экспериментального исследования получаются

в виде коэффициентов сопротивления. При вычислении коэффициентов в основу принимают, что сопротивление пропорционально плотности воздуха, площади миделевого сечения тела, квадрату скорости и коэффициенту сопротивления, зависящему от формы тела, т. е.

$$P = k\rho \cdot S \cdot v^2, \quad (5)$$

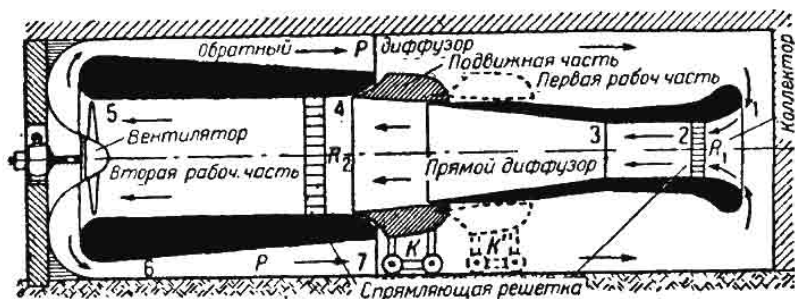
где k — коэффициент лобового сопротивления;
 ρ — плотность воздуха;
 S — площадь миделевого сечения;
 v — скорость потока в трубе.

Таким образом, несмотря на то, что имеются многочисленные теории сопротивления, в основу кладется формула Ньютона, в которую введен коэффициент, определяемый экспериментальным путем.

Из формулы (5) находим:

$$k = \frac{P}{\rho \cdot S \cdot v^2}. \quad (6)$$

Величина этого коэффициента обычно и дается в таблицах сопротивления различных тел.



Фиг. 4. Аэродинамическая труба.

Часто дают коэффициенты, определяемые формулой:

$$k = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho S v^2}. \quad (7)$$

Поэтому если нужно сравнить сопротивление различных тел, необходимо обращать внимание на то, по какой формуле определен коэффициент. Зная коэффициент сопротивления данной формы, например модели обтекаемого автомобиля, легко вычислить сопротивление по формуле:

$$P = k\rho S v^2. \quad (8)$$

Здесь нужно обратить внимание на одно важное обстоятельство. Для того чтобы результат исследования модели можно было переносить на природу, недостаточно геометрического подобия модели и природы. Нужно, чтобы подобными были и обтекающие их потоки. Английский ученый Рейнольдс нашел, что для

подобия потока нужно, чтобы число, определяемое выражением

$$\frac{v l}{\nu}, \quad (9)$$

оставалось одинаковым как для модели, так и для природы. Это число называют критерием Рейнольдса и обозначают так:

$$R_e = \frac{v l}{\nu}, \quad (10)$$

где l — один из характерных размеров модели или природы;
 v — скорость потока воздуха;
 ν — кинематический коэффициент вязкости.

Совершенно безразлично, какой линейный размер подразумевается под l , так как модель и натура геометрически подобны. Важно соблюдать, чтобы на модели и на натуре за l считали один и тот же размер. Например, если брать u модели за l средний диаметр миделевого сечения, то такой же размер нужно брать и у природы. Если модель в 10 раз меньше природы, то для того чтобы соблюсти равенство рейнольдсовых чисел нужно, чтобы при постоянной вязкости воздуха скорость при исследовании модели была в 10 раз больше скорости автомобиля в натуре. Тогда будет соблюдаться подобие. Но это осуществить трудно по ряду причин. Обычно исследования ведут при скорости 35—60 м/сек, что значительно меньше требуемой скорости. Однако при этом получают достаточно точные результаты.

Еще одно обстоятельство несколько уменьшает точность эксперимента. Мы уже отмечали, что турбулентность потока оказывает влияние на сопротивление. Различные аэродинамические трубы обладают не одинаковой турбулентностью. Поэтому и результаты, полученные в разных трубах, не одинаковы. В настоящее время уже выработаны практические методы измерения турбулентности потока, благодаря чему можно вводить поправку на различную турбулентность.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА МОДЕЛЯХ

1. Оценка метода испытаний

В предыдущей главе мы рассмотрели основные положения аэродинамики.

Закон динамического подобия Рейнольдса говорит, что коэффициенты сопротивления воздуха k двух геометрически подобных тел будут равны друг другу при условии равенства рейнольдсовых чисел.

Рейнольдсово число выражается следующим уравнением:

$$R_e = \frac{v l}{\nu},$$

где v —скорость потока воздуха относительно тела;

l —какой-либо линейный размер тела;

ν —кинематический коэффициент вязкости.

В большинстве случаев при испытании автомобилей линейный размер принимают $l = \sqrt{F}$; здесь F —площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную направлению потока воздуха.

Так как ν —кинематический коэффициент вязкости—для случая движения тела в одной и той же среде—величина практически постоянная, то для соблюдения равенства рейнольдсовых чисел необходимо иметь постоянным произведение $v \cdot l$. Если линейный размер модели l меньше натуре в 10 раз, то для того чтобы получить то же рейнольдсово число, необходимо увеличить скорость воздуха в 10 раз.

Так как размеры аэродинамических труб позволяют продувать модели автомобилей не больше, чем в 0,10 натуральной величины, то для того, чтобы получить те же рейнольдсовы числа, что и для натуре, необходимо было бы вести продувку на очень больших скоростях.

Если автомобиль развивает скорость 100 км/час, то для получения того же рейнольдсова числа в трубе, при обдувке модели в 0,10 натуральной величины, необходимо было бы дать скорость потока воздуха в 1000 км/час. Такая скорость потока воздуха в трубе не дается по двум причинам: во-первых,

для получения такой скорости потребовалась бы очень мощная силовая установка, и во-вторых, на такой скорости продувки начинает сказываться сжимаемость воздуха, в результате чего изменяется закон сопротивления.

В предыдущей главе также был рассмотрен закон приближенного динамического подобия.

Этот закон, установленный на основании многочисленных опытов, говорит, что коэффициенты сопротивления двух геометрически подобных тел равны друг другу и при несоблюдении равенства рейнольдсовых чисел. Этот закон применим к телам плохо обтекаемой формы. К таким телам, с точки зрения аэродинамики, можно отнести даже обтекаемый автомобиль. Следовательно, на основании этого закона, коэффициенты сопротивления воздуха, полученные при продувке модели в аэродинамических трубах при малых значениях рейнольдсовых чисел, можно считать равными коэффициентам сопротивления воздуха для автомобилей в натуральную величину. Это, как увидим из дальнейшего, подтверждается опытами различных исследователей, проведенными с автомобилями и моделями автомобилей.

Метод определения сопротивления воздуха на моделях помимо основного недостатка, заключающегося в несоблюдении равенства рейнольдсовых чисел, имеет еще целый ряд недостатков и неточностей. Здесь мы остановимся на тех экспериментальных работах, которые дают представление о количественной стороне той или другой неточности метода.

Метод испытаний автомобилей в аэродинамических трубах имеет большой недостаток в отношении неполного осуществления подобия обтекания нижней части модели автомобиля. В то время как при движении автомобиля воздух остается неподвижным относительно дороги, в условиях лабораторных испытаний в аэродинамической трубе воспроизвести точно это явление невозможно. Точность воспроизведения влияния дороги при испытании модели в аэродинамической трубе в значительной степени зависит от метода испытания модели. Насколько точно воспроизводит влияние дороги тот или другой метод испытания можно судить по результатам опытов, проведенных в аэродинамической лаборатории Мичиганского университета. В табл. 1 приведены данные этих опытов. Испытания проводились с одной и той же моделью.

Из таблицы видно, что пограничный слой плиты очень сильно влияет на сопротивление воздуха. Отсос воздуха пограничного слоя производился через отверстия в плите. Таких отверстий было просверлено 2000. При полном отсосе удавалось удалить слой воздуха, равный $\frac{1}{8}$ толщины всего пограничного слоя.

При экстраполяции результатов, полученных при продувке модели, установленной на плите до полного удаления пограничного слоя, получается совпадение с результатами продувки методом зеркального отображения. Данные продувки также говорят, что лучше продувать модель, подвешенную свободно в трубе, чем устанавливать ее на плите даже с отсосом пограничного

слоя. Изложенное выше касается только сопоставления различных методов испытания.

В качестве параметра для оценки различных методов испытания был принят метод испытания двух моделей, установленных в зеркальном отображении. Возникает вопрос, насколько точно последний метод воспроизводит действительный характер обтекания воздухом автомобиля, движущегося по дороге.

Таблица 1

Различные методы испытания моделей автомобиля в аэродинамических трубах

№ п.п.	Метод испытания	k	Изменение k в %
1	Метод испытания при установке модели на плоскую плиту	0,116	74
2	Метод испытания при установке модели на плоскую плиту с частичным удалением пограничного слоя путем отсоса воздуха. Сила отсоса равна 50% полной производительности насоса	0,122	77,3
3	Метод испытания при установке модели на плоскую плиту с удалением $\frac{1}{3}$ пограничного слоя плиты при полной нагрузке насоса	0,134	85,2
4	Метод испытания при свободном подвесе модели	0,149	94,5
5	Метод испытания при установке двух моделей в зеркальном отображении	0,157	100

Метод испытания моделей, установленных в зеркальном отображении, основан на предположении, что в плоскости разреза моделей существует горизонтальный слой воздуха, движущийся со скоростью, равной скорости продувки. Такой слой воздуха должен соответствовать поверхности дороги при движении автомобиля. Фактически этого, конечно, не получается. Между моделями имеется область завихрения, и вихри пересекают плоскость разреза. Этот метод не воспроизводит действительный характер потока воздуха относительно автомобиля. Более точно соответствовал бы метод испытания одной модели, установленной на движущийся пол.

Сопоставление результатов продувки двух моделей с результатами продувки последним методом даст возможность судить о количественной стороне неточности воспроизведения влияния дороги в первом методе.

Метод испытаний одной модели, установленной над двигающимся полом, впервые был применен лет 25 тому назад французским инженером Эйфель. Вместо пола он применил широкий бесконечный ремень.

Ввиду сложности механизма и ряда других причин от этой конструкции пришлось отказаться. Однако в 1934 г. этот метод

удалось осуществить проф. Клемин в аэродинамической лаборатории Daniel Guggenheim School of Aeronautics. Он также применил бесконечный ремень. При этом, благодаря тщательной разработке конструкции, ему удалось избежать выпучивания и хлопания ремня. Чтобы меньше искажался поток воздуха над двигающимся ремнем, спереди механизм закрыт обтекателем.

Опыты по продувке различными методами, проведенными проф. Клемином, показали, что результаты, полученные продувкой двух моделей, установленных в зеркальном отображении, очень близко подходят к данным продувки одной модели, установленной над двигающимся ремнем. Для одних моделей значения коэффициентов, полученных при продувке двух моделей, были больше, чем при продувке одной модели, установленной над двигающимся ремнем, для других меньше. Опыты, проведенные проф. Клемином, заставляют предполагать, что при продувке двух моделей, установленных в зеркальном отображении в плоскости разреза, не образуется сколько-либо интенсивных вихрей, которые сказались бы на величине сопротивления всей модели.

В опытах, проведенных проф. Lau, имеется совпадение значений коэффициентов сопротивления, полученных при продувке двух моделей, установленных в зеркальном отображении, с коэффициентами сопротивления, полученными путем экстраполяции результатов испытаний до полного отсоса пограничного слоя при продувке одной модели, установленной на плите. Это является также подтверждением того положения, что в плоскости разреза не образуется интенсивных вихрей.

Следовательно, метод продувки двух моделей, установленных в зеркальном отображении, очень близко воспроизводит подобие обтекания воздухом автомобиля в отношении влияния дороги.

Метод определения сопротивления воздуха при помощи продувки в аэродинамических трубах недостаточно точно воспроизводит также влияние колес на общее сопротивление.

При движении автомобиля по дороге колеса вращаются. Это вращение колес сказывается на общем сопротивлении воздуха движению автомобиля. Сделать колеса у модели также вращающимися не представляется возможным.

Насколько влияет вращение колес на общее сопротивление, можно судить по опытам, проведенным инженером Lafay. В своих исследованиях вместо колес он брал вращающийся цилиндр, диаметр цилиндра был 10 см, длина 35 см. Обороты цилиндра подбирались таким образом, что окружная скорость цилиндра равнялась скорости продувки.

На малых скоростях продувки и соответственно на малых оборотах цилиндра сопротивление вращающегося цилиндра было то же, что и невращающегося. Но начиная с определенной скорости, сопротивление вращающегося цилиндра начинает возрастать по сравнению с сопротивлением невращающегося цилиндра. Так на скорости продувки 27 м/сек при соответствующих оборотах цилиндра в 5160 об/мин сопротивление получилось равным 1050 г вместо 700 г при неподвижном цилиндре (фиг. 5). Но так

как направление аэродинамической силы отклоняется при этом на 45° , то составляющая сопротивления на направление скорости будет:

$$1050 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 740 \text{ з,}$$

т. е. увеличением сопротивления за счет вращения колеса практически можно пренебречь.

Отсюда можно сделать предположение, что изменение воздушного потока, вызванного вращением колес, будет точно так же мало сказываться и на общем сопротивлении автомобиля.

На сопротивление воздуха движению автомобиля должно также сказываться влияние радиатора и жалюзей капота. Но опытов в этом направлении не было проведено.

Несмотря на целый ряд изложенных выше недостатков, метод определения сопротивления воздуха путем продувки моделей

в аэродинамических трубах дает все же возможность получить достаточно точные абсолютные данные по сопротивлению воздуха движению автомобиля.

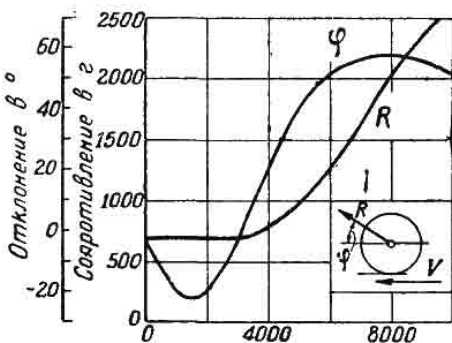
Для сравнительной оценки обтекаемости различных моделей этот метод является наиболее совершенным. Незначительные изменения сопротивления той или иной модели можно уловить только при помощи чувствительных весов, применяемых в аэродинамических трубах.

При испытаниях автомобиля в натуре, в дорожных условиях, эти незначительные изменения сопротивления уловить очень трудно, так как точность этих опытов невысока.

2. Опыты по исследованию сопротивления различных моделей

Чтобы определить зависимость общего сопротивления воздуха от основных элементов конструкции автомобиля были проведены проф. Лау опыты в аэродинамической лаборатории Мичиганского университета.

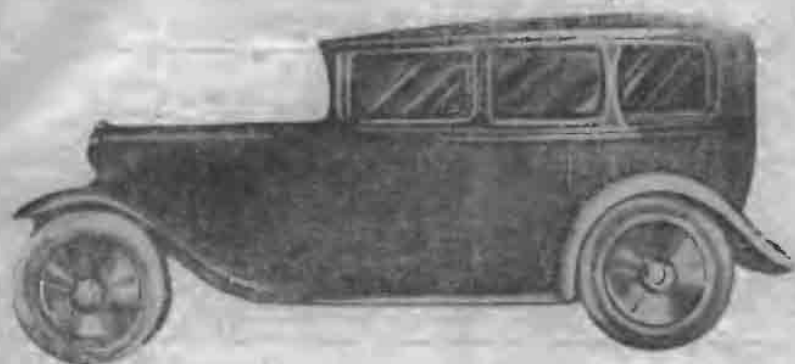
Исследования были проведены на 30 моделях. Модели представляли постепенное изменение формы, начиная с параллелепипеда и кончая идеально обтекаемым телом. Габариты всех моделей предусматривали возможность получить нормальный 4-местный кузов. Поверхности всех моделей были выполнены абсолютно гладкими, — не было никаких выступающих деталей. Фары, крылья, запасные колеса и подножки были включены в общий контур кузова. Модели были построены в $1/8$ натуральной величины. В качестве параметра для оценки обтекаемости всех



Фиг. 5. Аэродинамическое сопротивление вращающегося цилиндра.

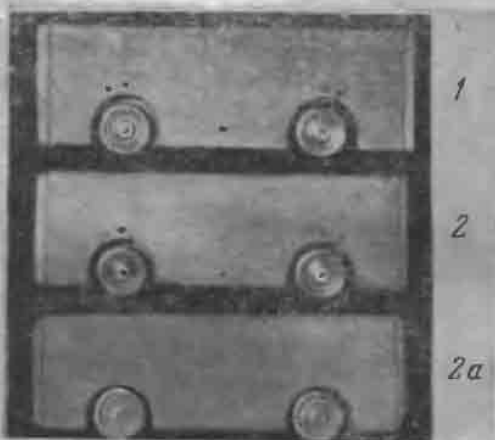
моделей, были взяты три тела: плоская пластинка, модель автомобиля с кузовом Седан 1930 г. и модель идеально обтекаемого тела.

Модель автомобиля с кузовом Седан была выполнена в $\frac{1}{4}$ натуральной величины (фиг. 6). Такой масштаб позволил очень



Фиг. 6. Модель стандартного легкового автомобиля Седан 1930 г.

тщательно соблюсти подобие даже в отношении очень мелких деталей. Все три модели: пластинка, Седан и идеально обтекаемое тело имели одну и ту же лобовую поверхность. Коэффициент сопротивления k получился равным: пластинки—0,64, Седан—0,306 и идеально обтекаемого тела—0,04.



Фиг. 7. Различные модели автомобиля в форме параллелепипеда проф. Лау.

модели 2 и 2а (фиг. 7) представляют тот же параллелепипед, только углы и края этого параллелепипеда закруглены. У модели 2 закругления выполнены с радиусом 19 мм, что соответствует радиусу 150 мм для автомобиля в натуральную величину. В модели 2а закругления выполнены с радиусом,

Модель 1 (фиг. 7) представляет параллелепипед с острыми углами и краями. Колеса включены в общий контур кузова, но сбоку не закрыты. Пропорции параллелепипеда таковы, что в него как раз вписывается модель обычного Седана. Эта модель имеет наибольшее отступление от обтекаемой формы. Однако, ввиду того что поверхность этого параллелепипеда абсолютно гладкая, не образует никаких дополнительных вихреобразований за счет выступающих деталей. Мо-

соответствующим 225 мм для автомобиля в натуральную величину.

Эти три модели составляют первую группу. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

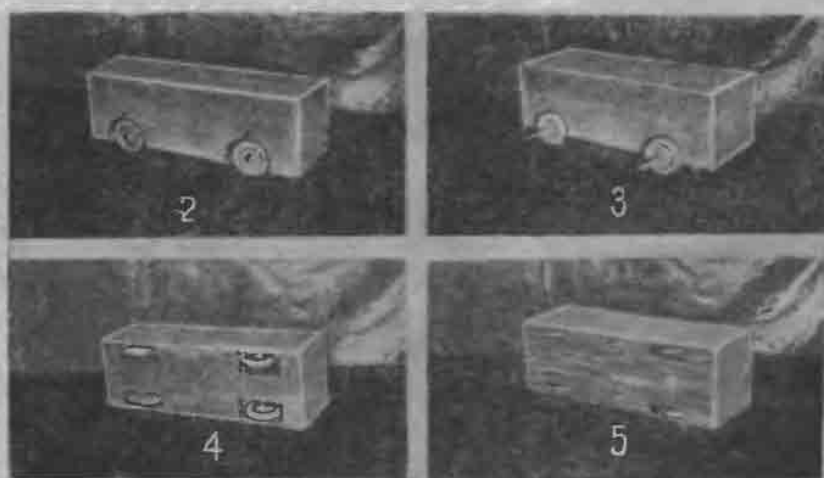
Таблица 2

Влияние закруглений углов

Описание модели	№ модели	k	Уменьшение k в %
А. Параллелепипед — острые углы	1	0,43	0,0
В. Параллелепипед с закругленными углами радиусом 152 мм	2	0,295	30,5
С. Параллелепипед с закругленными углами радиусом 230 мм	2а	0,230	46,4

Как видим, закругления углов имеют значительное влияние на аэродинамическое сопротивление модели.

Вторая группа, показанная на фиг. 8, состоит из модели 2, 3, 4 и 5. В основу всех моделей положен корпус модели 2. Раз-



Фиг. 8. Различные способы закрытия колес.

личие между моделями заключается лишь в характере закрытия колес. В модели 2 колеса включены в габарит кузова, но не закрыты сбоку. В модели 3 колеса вынесены за габариты кузова и совершенно открыты. В модели 4 колеса включены в габарит кузова и закрыты сбоку. Снизу имеется доступ воздуха в зазор между колесами и корпусом модели. В модели 5 колеса со всех сторон закрыты; из общего контура выступает лишь нижняя часть колес. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Сами колеса имеют достаточно хорошую обтекаемость, так что поместив их вне кузова, общее сопротивление модели увеличивается всего на 5,4%. Если при этом учесть увеличение площади, то коэффициент сопротивления не увеличится, а даже несколько уменьшится.

Таблица 3

Влияние способа закрытия колес

(все модели — параллелепипед с закругленными углами радиусом 152 мм)

Описание модели	№ модели	k	Увеличение k в %
A. Колеса открыты сбоку	2	0,286	0,0
B. " вынесены наружу	3	0,302	5,4
C. " закрыты сбоку	4	0,290	1,3
D. " " полностью	5	0,296	3,4

Вообще влияние колес очень незначительное.

Следующая серия опытов была проведена на моделях, приближающихся по контуру к конструкции автомобиля. Средняя часть всех этих моделей, представляющая 4-местный кузов, оставалась во всех моделях без изменения. Изменялись лишь передняя и хвостовая часть модели.



Фиг. 9. Модель обтекаемого автомобиля проф. Лай с различными обтекателями.

При конструировании сменных передних и хвостовых частей были использованы элементарные контуры. Контур передней части проектировался из элементов эллипса, окружности и прямой линии. Контур задней части — из параболы, окружности и прямой. Эллипс и парабола были выбраны, как наиболее рациональные контуры с точки зрения аэродинамики. По подобному же принципу конструируется внешняя форма дирижаблей.

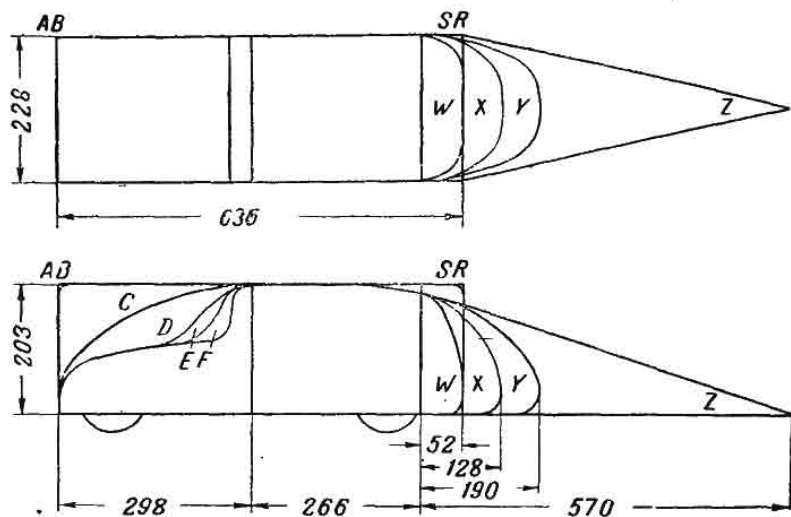
На фиг. 9 представлена фотография модели автомобиля с различными сменными приставками. На фиг. 10 та же модель изображена схематически. Контур передней части обозначены первыми буквами алфавита, а контуры задней части последними буквами алфавита.

Контур С представляет эллипсоид. Остальные три контура передней части имеют форму нормального капота. Различие

между ними заключается лишь в наклоне переднего стекла. В контуре *F* переднее стекло расположено вертикально, в контуре *E*—под углом $22\frac{1}{2}^\circ$ и в *D*— 45° .

Три последних контура имеют основные пропорции радиатора, капота и переднего стекла такие же, как и в существующих автомобилях за исключением только того, что капот настолько широк, что включает в свои габариты колеса. Четыре сменных хвоста, обозначенные буквами *w*, *x*, *y*, *z*, по верхнему своему контуру имеют форму параболы, снизу все они ограничены горизонтальной плоскостью. Длина контура *w* соответствует длине современного автомобиля, включая буфер. Длина *x* равна примерно половине высоты модели, длина *y*—высоте модели.

В последнем контуре *z* длина взята достаточной, чтобы получить при этом наилучшие условия обтекания. Различные



Фиг. 10. Схематический чертеж моделей автомобиля проф. Лая.

комбинации передней и хвостовой части дали возможность получить 15 моделей. Краткое описание этих моделей приводим в табл. 4.

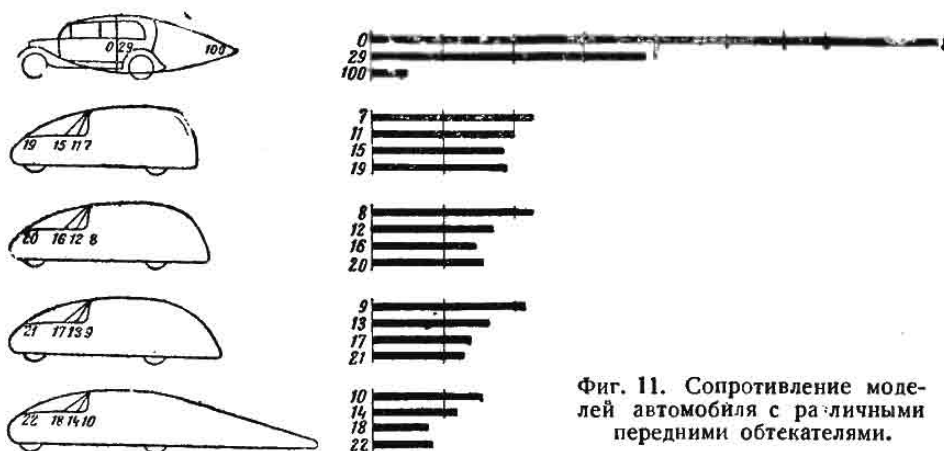
Результаты испытаний 15 моделей от 7 до 22 сведены в две основные группы; на фиг. 11 и в табл. 5 данные испытаний подобраны таким образом, чтобы можно было показать изменение сопротивления воздуха, в зависимости от конструкции передней части при данном профиле хвоста.

Модель 7 по основным своим размерам очень близко подходит к конструкции обычного Седана 1930 г. Однако эта модель имеет лучшую обтекаемость за счет закруглений всех углов и благодаря отсутствию каких-либо выступающих деталей. Сопротивление этой модели немного больше половины сопротивления Седана 1930 г. При плохой обтекаемости задней части сопротивление может быть уменьшено незначительно за счет

обтекаемости передка. В большей степени изменение передка сказывается на сопротивлении модели с обтекаемым хвостом.

Таблица 4

№ модели	Контуры	Описание
7	$F-w$	Вертикальное переднее стекло; длина хвоста нормальная.
8	$F-x$	Вертикальное переднее стекло; длина хвоста равна $1/2$ высоты модели.
9	$F-y$	Вертикальное переднее стекло; длина хвоста равна высоте модели.
10	$F-z$	Вертикальное переднее стекло; обтекаемый хвост.
11	$E-w$	Переднее стекло под углом $22\frac{1}{2}^\circ$; длина хвоста нормальная.
12	$E-x$	Переднее стекло под углом $22\frac{1}{2}^\circ$; длина хвоста равна $1/2$ высоты модели.
13	$E-y$	Переднее стекло под углом $22\frac{1}{2}^\circ$; длина хвоста равна высоте модели.
14	$E-z$	Переднее стекло под углом $22\frac{1}{2}^\circ$; обтекаемый хвост.
15	$D-w$	Переднее стекло под углом 45° ; длина хвоста нормальная.
16	$D-x$	Переднее стекло под углом 45° ; длина хвоста равна $1/2$ высоты модели.
17	$D-y$	Переднее стекло под углом 45° ; длина хвоста равна высоте модели.
18	$D-z$	Переднее стекло под углом 45° ; обтекаемый хвост.
19	$C-w$	Эллиптический перед; длина хвоста нормальная.
20	$C-x$	Эллиптический перед; длина хвоста равна $1/2$ высоты модели.
21	$C-y$	Эллиптический перед; длина хвоста равна высоте модели.
22	$C-z$	Эллиптический перед; обтекаемый хвост.



Фиг. 11. Сопротивление моделей автомобиля с различными передними обтекателями.

Сопоставляя результаты продувки модели с передним стеклом, наклоненным под углом 45° , и модели с передком эллиптической формы, видим, что наклон переднего стекла под углом 45°

дает такие же результаты, а иногда даже и лучше, чем эллиптическая форма. При конструировании автомобиля это дает значительную свободу в отношении выбора наклона стекла для получения лучшей видимости.

Таблица 5

Влияние формы передка

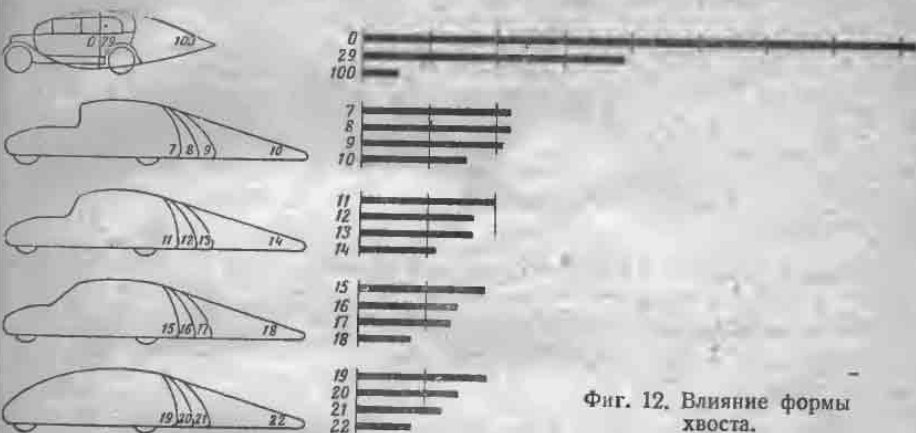
Описание модели	№ модели	k	Уменьшение k в %
А. Нормальный хвост (w)			
1 — Вертикальное положение переднего стекла	7	0,173	0,0
2 — Наклон переднего стекла $22\frac{1}{2}^\circ$	11	0,156	9,7
3 — " " " 45°	15	0,148	14,4
4 — Эллиптический перед	19	0,149	13,9
В. Длина хвоста, равная $\frac{1}{2}$ высоты модели			
1 — Вертикальное положение переднего стекла	8	0,172	0,0
2 — Наклон переднего стекла $22\frac{1}{2}^\circ$	12	0,129	24,8
3 — " " " 45°	16	0,113	34,2
4 — Эллиптический перед	20	0,118	31,1
С. Длина хвоста, равная высоте модели			
1 — Вертикальное положение переднего стекла	9	0,161	0,0
2 — Наклон переднего стекла $22\frac{1}{2}^\circ$	13	0,125	22,2
3 — " " " 45°	17	0,105	34,9
4 — Эллиптический перед	21	0,098	38,9
Д. Обтекаемый хвост			
1 — Вертикальное положение переднего стекла	10	0,120	0,0
2 — Наклон переднего стекла $22\frac{1}{2}^\circ$	14	0,086	28,3
3 — " " " 45°	18	0,060	49,8
4 — Эллиптический перед	22	0,0625	48,1

На фиг. 12 и в табл. 6 данные испытания сгруппированы таким образом, что дают возможность судить о влиянии обтекаемости хвоста при данном контуре передней части. Из таблицы и графика видно, что чем лучше обтекаемость передней части, тем больше можно снизить сопротивление за счет улучшения обтекаемости хвоста.

Во всех моделях менялся лишь контур в вертикальной плоскости, в горизонтальной плоскости все модели имели почти

один и тот же вид, а именно: прямоугольник с слегка закругленными углами.

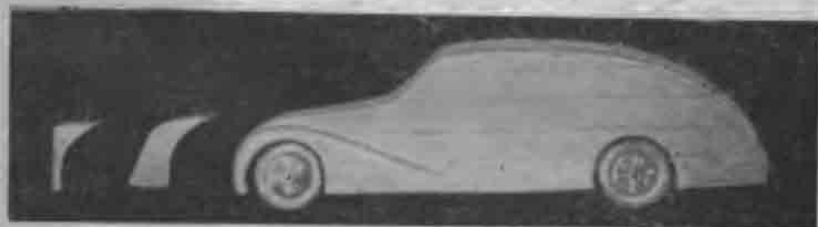
Представляет интерес, как изменится сопротивление модели, если в плане ее сделать несколько шире, так как это фактически имеет место в обычных автомобилях. Так сделана была модель 6, отличающаяся от модели 21 вверху только средней частью. Хвост и перед остались те же самые, что и в модели 21.



Фиг. 12. Влияние формы хвоста.

Наибольшая ширина средней части модели 6 больше ширины модели 21 на 25 мм, что для автомобиля натуральной величины составит 400 мм. Испытания показали, что сопротивление при этом уменьшилось на 18,8% (табл. 7).

Следующий этап испытаний заключался в исследовании сопротивления моделей, приближающихся по своей внешней форме к стандартному необтекаемому автомобилю. Первая такая мо-



Фиг. 13. Влияние формы капота и крыльев.

дель 23 представлена на фиг. 13. Эта модель была получена путем незначительных изменений из модели 17. Различие между этими моделями заключается только в том, что в модели 23 капот, переднее стекло и передняя часть кузова несколько сужены и имеются передние крылья. Несмотря на эти незначительные изменения, сопротивление возросло на 21%. Результаты испытаний приведены в табл. 8.

В модели 23 радиатор представляет часть поверхности эллипсоида. Чтобы исследовать влияние формы радиатора на об-

Таблица 6

Влияние формы хвоста

Описание модели	№ модели	k	Уменьшение k в %
А. Вертикальное положение переднего стекла			
1—Нормальный хвост	7	0,173	0,0
2—Длина хвоста равна $\frac{1}{2}$ высоты модели	8	0,172	0,7
3— " " " высоте модели	9	0,161	6,9
4—Обтекаемый хвост	10	0,12	30,4
В. Наклон переднего стекла $22\frac{1}{2}^\circ$			
1—Нормальный хвост	11	0,156	0,0
2—Длина хвоста равна $\frac{1}{2}$ высоты модели	12	0,129	17,3
3— " " " высоте модели	13	0,125	19,7
4—Обтекаемый хвост	14	0,086	44,8
С. Наклон переднего стекла 45°			
1—Нормальный хвост	15	0,148	0,0
2—Длина хвоста равна $\frac{1}{2}$ высоты модели	16	0,113	23,6
3— " " " высоте модели	17	0,105	29,2
4—Обтекаемый хвост	18	0,06	59,2
Д. Эллиптический перед			
1—Нормальный хвост	19	0,149	0,0
2—Длина хвоста равна $\frac{1}{2}$ высоты модели	20	0,118	20,5
3— " " " высоте модели	21	0,098	33,9
4—Обтекаемый хвост	22	0,0625	58,1

Таблица 7

Влияние на сопротивление воздуха обтекаемости модели в горизонтальной плоскости

Описание модели	№ модели	k	Уменьшение k в %
А. Прямая боковая поверхность	21	0,098	0,0
В. Выпуклая боковая поверхность	6	0,080	18,8

щее сопротивление воздуха, к модели 23 были сделаны 2 сменных радиатора: один плоский, расположенный вертикально, и второй — V-образный с наклоном назад (фиг. 13).

С плоским радиатором (модель 24) сопротивление увеличилось на 27%, а с V-образным на 18%. Результаты испытаний приведены в табл. 9.

Таблица 8

Влияние формы капота и крыльев

Описание модели	№ модели	k	Уменьшение k в %
А. 45° наклон переднего стекла; длина хвоста равна высоте модели	17	0,105	0
В. То же с крыльями	23	0,127	- 21,4

Таблица 9

Влияние формы радиатора

Описание модели	№ модели	k	Уменьшение k в %
А. Вертикально-расположенный плоский радиатор	24	0,161	0,0
В. V-образный радиатор	25	0,143	11,2
С. Эллиптический	23	0,127	21,1

В модели 23 переднее стекло было плоское и наклонено назад под углом 45°. При помощи пластической глины переднему стеклу была придана V-образная форма. Угол между двумя стеклами составлял 105°. В модели 26 стекло было поставлено вертикально; в модели 27 наклонено под углом 45°. Испытания показали увеличение сопротивления по отношению к модели 23 как для модели 26, так и для модели 27.

Результаты испытаний приведены в табл. 10.

Таблица 10

Влияние формы переднего стекла

Описание модели	№ модели	k	Уменьшение k в %
А. Плоское переднее стекло с наклоном в 45°	23	0,127	0,0
В. V-образное переднее стекло установлено вертикально	26	0,162	- 27,7
С. V-образное переднее стекло с наклоном в 45°	27	0,151	- 18,3

В заключение была испытана модель 28 (фиг. 14), являющаяся, по собственному заявлению экспериментатора, моделью обтекаемого автомобиля, который можно будет практически осуществить на базе стандартного шасси с двигателем в передней части. Основные очертания этой модели те же, что и в модели 23. Изменена лишь форма радиатора, вместо эллиптического поставлен V-образный. С достаточной тщательностью



Фиг. 14. Форма обтекаемого автомобиля проф. Лау.

в этой модели выполнены все закругления у стекол и установлен задний буфер. Коэффициент сопротивления этой модели несколько больше, чем сопротивление модели 23 и равен — 0,156.

Данные по основным моделям сведены в табл. 11.

Таблица 11

Сопротивление воздуха основных моделей

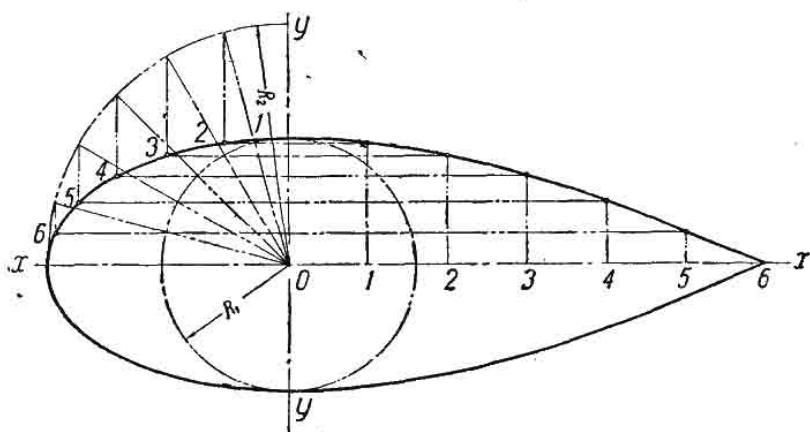
Описание модели	№ модели	k	Уменьшение k в %
А. Пластинка	0	0,64	0,0
В. Седан 1930 г.	29	0,302	59,7 — 0,0
С. Обтекаемый автомобиль	28	0,156	80,6 — 48,2
Д. Упрощенная форма обтекаемого автомобиля	23	0,127	83,0 — 57,9
Е. Идеально обтекаемое тело	100	0,04	93,6 — 84,1

Исследования влияния основных элементов конструкции автомобиля на общее сопротивление воздуха, проведенные проф. Лау, были выполнены на моделях упрощенной формы. Но эти

опыты уже дают возможность судить о влиянии формы передка и хвоста на общее сопротивление. Аналогичные опыты по исследованию формы передка и хвоста с моделями, более или менее точно воспроизводящими конструкцию автомобиля, были проведены автором в научно-исследовательском отделе ВАММ.

Основной моделью в этих опытах являлась модель опытного образца обтекаемого автомобиля, построенного на базе автомобиля ГАЗ-А.

При проектировании этого автомобиля имелось в виду дать максимально возможную обтекаемую форму кузова для данного типа шасси с таким расчетом, чтобы полученный для этой модели коэффициент сопротивления воздуха явился пределом, к которому нужно будет стремиться при проектировании в следующих опытных конструкциях кузовов, более приспособленных к условиям производства и эксплуатации.



Фиг. 15. Построение профиля обтекаемого тела.

При построении профилей самого кузова, переднего обтекателя и крыльев были использованы данные экспериментальной аэродинамики, а именно: в основу был положен профиль идеально обтекаемого тела.

Как известно, это идеально обтекаемое тело имеет форму капли жидкости. Передний конец более тупой, чем хвостовая часть. Максимальное поперечное сечение расположено на расстоянии $\frac{1}{3}$ длины от переднего конца. Вся длина равна шести диаметрам максимального поперечного сечения.

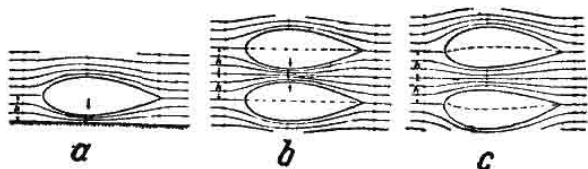
Подобный профиль очень легко построить графически (фиг. 15).

Из центра координат описываем окружность радиусом R_1 , равным радиусу максимального поперечного сечения обтекаемого тела, и вторую окружность — радиусом R_2 , равным $\frac{1}{3}$ длины тела. Делим вторую четверть окружности на равное количество отрезков, в данном случае на 6, и проводим из центра радиальные линии до пересечения с дугой радиуса R_2 .

Через точки пересечения этих радиальных линий с малой окружностью проводим линии, параллельные оси x . Точки пересечения вертикальных и горизонтальных линий построения будут лежать на кривой передней части профиля обтекаемого тела.

Для построения хвостовой части делим отрезок оси x на 6 равных отрезков и из концов этих отрезков восстанавливаем перпендикуляры до пересечения с соответствующими горизонтальными линиями построения. Точки пересечения линии построения будут лежать на кривой хвостовой части профиля.

Профиль отдельных элементов кузова автор строил аналогичным способом, изменив лишь соотношение между диаметром максимального поперечного сечения и длиной тела. При максимальной высоте автомобиля в 1700 мм и при соблюдении правильной пропорции, длина получилась бы больше 10 м, что привело бы к совершенно абсурдной конструкции кузова. Вопрос о том, придавать ли кузову форму, обтекаемую со всех сторон, или же только форму половины обтекаемого тела с плоскостью разреза параллельной плоскости дороги, явился предметом специального исследования.



Фиг. 16. Влияние дороги на спектр обтекания.

Некоторые конструкторы стремились придать автомобилю обтекаемую со всех сторон каплеобразную форму. Другие, как Джарей, придавали автомобилю форму половины обтекаемого тела. Второй тип конструкции является наиболее правильным с точки зрения аэродинамики, так как здесь учитывается влияние дороги на сопротивление воздуха.

Чтобы уяснить влияние дороги на величину сопротивления воздуха, разберем этот момент сначала на более простых телах.

Если взять обтекаемое тело и поместить в струю воздуха, то благодаря симметрии тела относительно направления движения вся реакция воздуха будет силой, параллельной направлению потока воздуха. Никакой поперечной силы при этом не образуется.

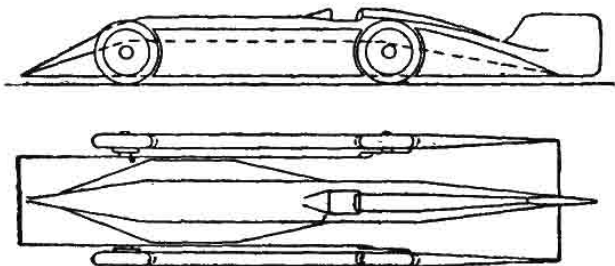
Однако, если то же тело двигать по дороге на расстоянии h от полотна последней, как это показано на фиг. 16а с левой стороны, то между дорогой и телом воздух будет сгущаться, в результате чего скорость воздуха в этом пространстве возрастет.

Согласно теореме Бернулли увеличение скорости воздуха повлечет за собой уменьшение давления в этой части потока. В результате суммарная реакция сопротивления воздуха изменит

свое направление, т. е. в дополнение к горизонтальной силе появится поперечная сила, стремящаяся прижать тело к дороге.

Эту силу, возникающую по закону Бернулли, мы будем в дальнейшем называть поперечной. Следовательно, поперечная сила возникает вследствие увеличенной скорости воздуха в пространстве между машиной и дорогой. На создание этой увеличенной скорости воздуха требуется затратить определенное количество энергии, благодаря чему общее сопротивление движения возрастет.

То же самое наблюдается и при движении автомобиля по дороге. Воздух, сгущаемый между автомобилем и дорогой, увеличивает свою скорость, давление его уменьшается, автомобиль испытывает дополнительное давление сверху вниз. При определенной форме автомобиля эта сила, действующая вертикально, может быть направлена и снизу вверх, т. е. будет стремиться приподнять автомобиль.



Фиг. 17. Гоночный автомобиль Сегреф.

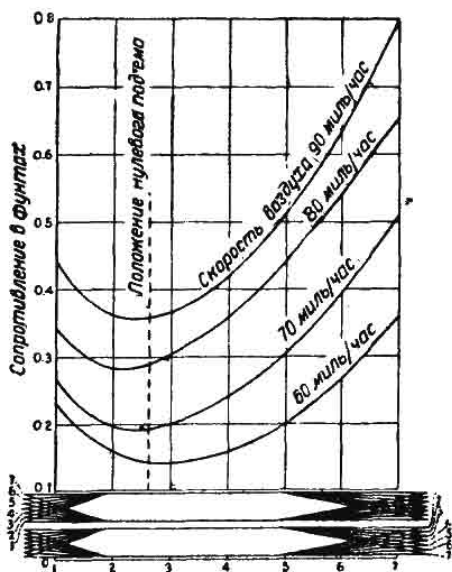
Если взять два тела, совершенно одинаковых и расположенных друг от друга на расстоянии $2h$ (фиг. 16б), и поместить в аэродинамическую трубу, то при обдуве мы получим между этими телами прямолинейную струю воздуха, такую же как над полотном дороги в случае движения по ней автомобиля.

Замеряя суммарное сопротивление обеих моделей и деля полученный результат пополам, получаем сопротивление воздуха с учетом влияния дороги. Поперечная сила будет прижимать обе модели друг к другу—явление, наблюдаемое при параллельном движении двух лодок на небольшом расстоянии друг от друга. Эта дополнительная поперечная сила увеличивает сопротивления давления, но телу можно придать такую форму, что эта сила будет уравновешиваться подъемной силой (фиг. 16в).

Чтобы выяснить характер изменения дополнительного сопротивления, вызываемого влиянием дороги в зависимости от очертаний кузова, в Мичиганском университете была испытана модель, в основных чертах напоминающая гоночный автомобиль Сегреф (фиг. 17).

С геометрической точки зрения этот автомобиль можно рассматривать как комбинацию следующих частей: 1) Плоский, удлиненный кузов, шириной немного меньшей расстояния

Между колесами, но достаточной для того, чтобы включить в себя шасси вместе с осями, рессорами и т. п. (передняя и задняя части сужены на подобие кончика ножа, концы свисают и находятся на одном уровне с нижней частью рамы). 2) Главный кузов круглого сечения; этот кузов напоминает фюзеляж аэроплана хорошей обтекаемости и вмещает двигатель и шофера, заканчиваясь сзади вертикальным плавником. Обтекаемость четырех колес улучшена путем установки двух боковых радиаторов между передним и задним колесами и двух обтекателей позади задних колес.



Фиг. 18. Сопротивление модели автомобиля Сегреф при различных положениях концов.

Перевертывание моделей дало возможность исследовать 7 различных относительных положений концов для определения нулевого подъема, соответствующего минимальному сопротивлению с учетом влияния дороги. Эти положения обозначены на фиг. 18. Испытание велось при скоростях 60, 70, 80, 90 миль в час (96, 112, 128 и 144 км/час), причем сопротивление замерялось 2 раза: с учетом влияния дороги и без этого учета.

Основные результаты испытаний следующие:

1) Влияние дороги на сопротивление движению возрастает с увеличением скорости движения. В то время как для скорости 60 миль в час сопротивление, с учетом влияния дороги, возрастает примерно на 60 и 75% для различных положений концов, то при скорости 90 миль в час это увеличение превышает 100%.

2) Положение или условие нулевого подъема было найдено между вторым и третьим случаями соотношения концов (фиг. 18), или, точнее, на расстоянии 28% высоты плоского кузова.

3) Несмотря на то что измерение небольших сил на таких сравнительно малых моделях представляло определенные трудности, отражаясь на точности, все же можно было провести плавные кривые через точки замеров. Положение концов, соответствующее минимальной силе сопротивления, хорошо согласуется с их размещением, соответствующим нулевому подъему, подтверждая таким образом теорию.

4) Сопротивление, вызываемое влиянием дороги, может быть посредством надлежащего размещения концов уменьшено на 38% при скорости 60 миль в час и на 20% при скорости 90 миль в час.

Результаты этих испытаний были использованы при проектировании обтекаемого кузова на шасси ГАЗ-А (фиг. 19).



Фиг. 19. Опытный обтекаемый кузов на шасси ГАЗ-А.

Машина производит на первый взгляд впечатление, что она много шире стандартной машины ГАЗ, на самом же деле по крыльям она такой же ширины. Правда, несколько шире сам кузов, но это не увеличивает габаритные размеры. Благодаря же тому, что кузов шире, на переднем сидении размещается 3 человека. Кузов двухдверный. Подножка находится внутри кузова. Спинки передних сидений, как сами сидения, откидные. Переднее стекло состоит из двух половин, расположенных под углом 154° , и наклонено назад под углом 49° . Передний обтекатель и хвост несколько приподняты.

Помимо того что основным контуром были приданы надлежащие профили, значительное внимание было уделено также и отдельным деталям.

Фары вделаны в крылья и имеют специальные обтекатели, сливающиеся с контурами крыльев. Замки у капота установлены с внутренней стороны, снаружи имеются лишь небольшие ручки.

Доступ к мотору совершенно свободен, так что мотор можно снять, не трогая переднего обтекателя. Запасное колесо крепится за задним сидением внутри кузова. Задние колеса целиком закрыты. Для смены колеса приходится снимать все крыло, для чего необходимо отвернуть два болта. Это представляет некоторое неудобство, но легко может быть устранено путем применения специального съемного щита, как это сделано, например, у Крейсера.

Нужно сказать, что высокорамное шасси ГАЗ является наименее приспособленным для установки на него обтекаемого кузова. При всем желании не удалось снизить высоту машины и она получилась такая же, как и у автомобиля с обыкновенным кузовом лимузин, а именно 1700 мм.

При более удобной конструкции шасси или же применяя несущий кузов типа Десото или Ситроен, высоту можно снизить до 1500 мм. Значительным препятствием к снижению высоты кузова явилась задняя поперечина, выступающая над рамой.

Поскольку высота кузова лимитировалась конструкцией шасси, длина хвостовой части получилась значительно большая, чем это требуется по условиям проходимости.

Длина всей машины 4970 мм. При низкорамном шасси или при несущем кузове, длина хвостовой части при том же профиле получилась бы меньше. Сопротивление воздуха для такой машины получилось бы значительно меньше, во-первых, потому, что уменьшилась бы лобовая площадь, и во-вторых, потому, что в этом случае автомобиль получился бы лучшей обтекаемости, благодаря более правильному сочетанию, с аэродинамической точки зрения, кузова с передним обтекателем и крыльями.

Каркас кузова деревянный. Вес всей машины с инструментами и заправленной бензином и водой 1270 кг. Вес Форд-А лимузин в тех же условиях 1170 кг. При тщательной конструктивной разработке каркаса вполне можно снизить вес обтекаемого кузова на 100 кг и сделать равным по весу с обыкновенным лимузином.

Как уже упоминалось выше, обтекаемый кузов проектировался в основном для исследования влияния обтекаемости на динамику и экономику автомобиля. Эти исследования велись по двум направлениям. Вначале были проведены испытания различных моделей автомобиля в аэродинамической трубе, а затем сравнительные испытания автомобилей в дорожных условиях.

Испытание модели в аэродинамической трубе проводилось в аэродинамической лаборатории имени проф. Жуковского Московского авиационного института. Модели были сделаны в $\frac{1}{10}$ натуральной величины. Такой масштаб был выбран, исходя из размеров трубы.

Большинство иностранных исследователей в своих опытах применяли модели, выполненные в таком же масштабе, что дает возможность сравнить и проверить результаты испытаний.

Всего подверглось продувке 5 моделей, изображенных на фиг. 20.

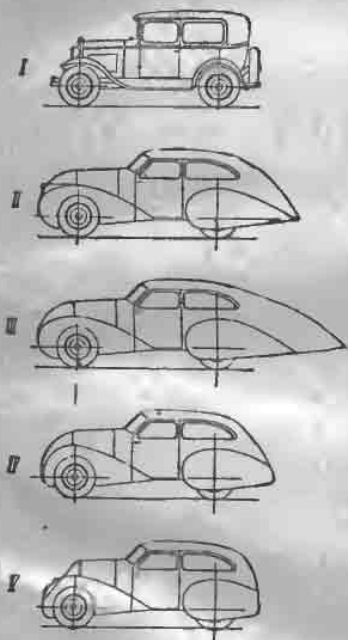
Модель 1 — это стандартный автомобиль Форд-А Тюдор.

Модель 2 — опытная конструкция обтекаемого автомобиля.

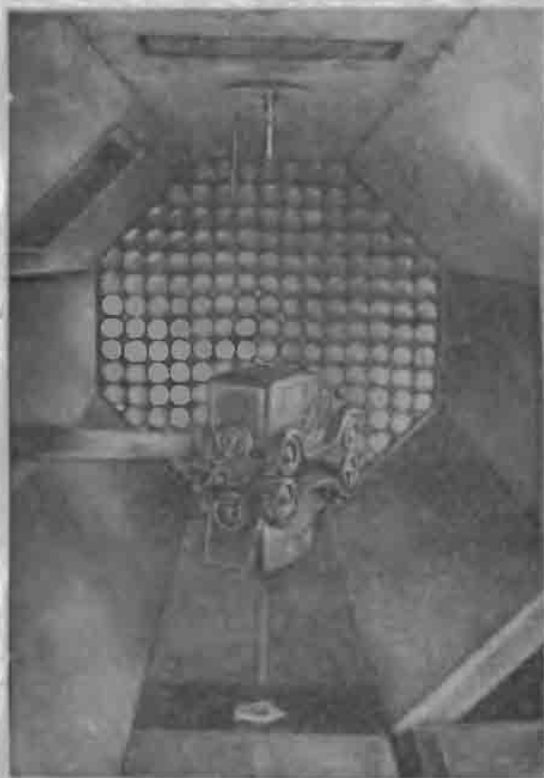
Модели 3, 4 и 5 — различные вариации обтекаемого автомобиля.

У всех трех последних моделей изменялась лишь форма передка и хвоста. Средняя часть между осями оставалась неизменяемой, такой же как и у модели 2.

Устанавливались модели не на проволочной подвеске, как это обычно



Фиг. 20. Модели автомобилей ГАЗ-А с различными кузовами.



Фиг. 21. Метод подвески модели ГАЗ-А в аэродинамической трубе.

принято, а на жесткой оправке, связанной системой рычагов с весами. Такая система установки позволила провести продувку моделей под различными углами, с целью определения влияния бокового ветра на аэродинамическое сопротивление автомобиля.

На фиг. 21 и 22 изображены установленные в трубе модели 1 и 2 при продувке под различными углами.

Для того чтобы учесть влияние дороги, о котором говорилось выше, модели испытывались попарно, так что одна являлась как бы зеркальным отображением второй.

На диаграмме (фиг. 23) приведены значения коэффициентов сопротивления воздуха к зависимости от рейнольдсова числа.

В этом случае соотношение скорости продувки и рейнольд-
совых чисел таково, что $R_e = 0,1 \cdot 10^6$ соответствует скорости
воздуха в 10 м/сек.

Как видно из диа-
граммы, начиная со
скорости в 20 м/сек
у большинства моде-
лей коэффициент сопро-
тивления с увеличе-
нием скорости воздуха
остается постоянным.

На скорости про-
дувки в 30 м/сек ко-
эффициенты сопротив-
ления имеют следую-
щие числовые значе-
ния, представленные в
табл. 12.

То положение, что
коэффициенты сопро-
тивления k не изме-
няются с увеличением
скорости продувки,
дает возможность, при-
меняя метод экстрапо-
ляции, считать значе-
ния этих коэффициентов
применимыми и к авто-
мобилю в натуральную
величину.

Сопротивление мо-
дели 2, т. е. модели

автомобиля с обтекаемым кузовом, построенным в натуру, пред-
ставляет 46% от сопротивления Форд-А Лимузин и равняется
0,175.

Таблица 12

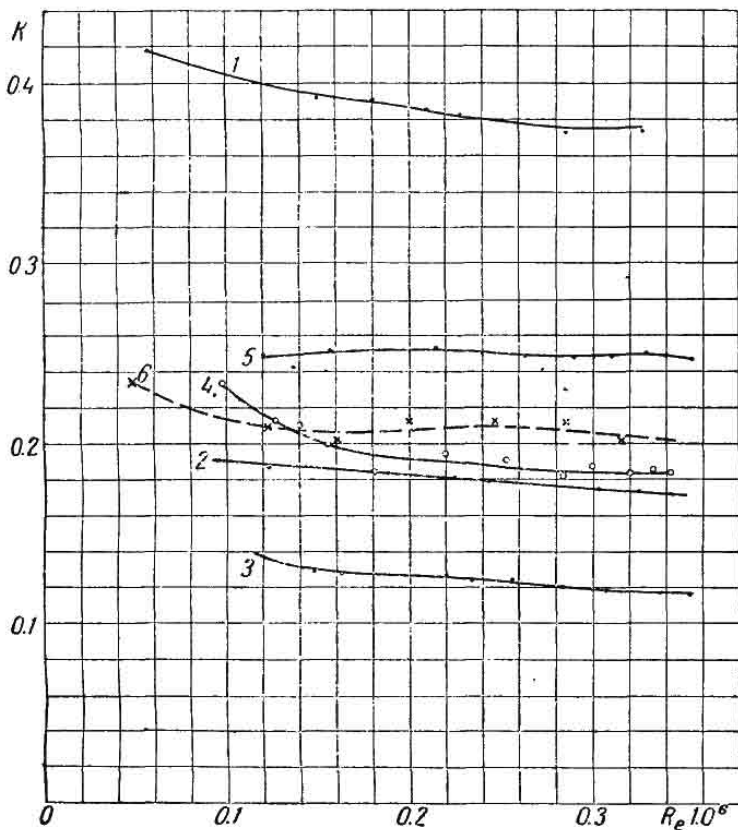
Коэффициенты сопротивления воздуха k для моделей автомобиля ГАЗ-А
с различными кузовами

№ модели	Тип кузова	Коэффициент сопротивления k	Приведенные значения k в %
1	Форд-А Лимузин 1930 г.	0,376	100
2	ГАЗ-А обтекаемый	0,175	46,5
3	" "	0,119	31,6
4	" "	0,187	49,0
5	" "	0,25	66,5
6	" "	0,205	54,0

Для лучших образцов обтекаемых автомобилей, где разработан не только кузов, но и сконструировано соответствующее шасси, коэффициент сопротивления $k = 0,12—0,16$.

Как видим, построенный кузов очень близко подходит к лучшим образцам обтекаемых кузовов.

При конструировании остальных моделей имелось в виду, с одной стороны, исследовать насколько улучшится обтекае-



Фиг. 23. Коэффициент сопротивления моделей автомобиля ГАЗ-А.

мость при соблюдении лучших пропорций между длиной и высотой и, с другой стороны, насколько, она ухудшится при приближении длины автомобиля к нормальным габаритным размерам. У всех трех моделей фары вделаны в крылья и совершенно не выступают из контура последних.

Результаты продувки говорят, что при соблюдении более правильных пропорций между длиной и высотой обтекаемость значительно улучшится. Коэффициент k для модели 3 равен 0,119, т. е. он равен наилучшему коэффициенту сопротивления для обтекаемых автомобилей.

Модели обтекаемого автомобиля 4 и 5 имеют коэффициент сопротивления соответственно 0,167 и 0,25.

Модель 5 по своим габаритам не больше, чем Форд-А Лимузин, и все же она имеет сопротивление на 34% меньше. Объясняется это тем, что данный тип кузова имеет большие радиусы закруглений и более правильную форму передней части. В обычных машинах значительное сопротивление представляют различные выступающие части: фары, гудки, подножки, запасные колеса и т. п. При конструировании автомобиля нужно стремиться по возможности закрыть все выступающие части или слить их с общим контуром.

Насколько сильно влияют на аэродинамическое сопротивление фары, мы можем судить хотя бы по данным продувки модели обтекаемого автомобиля 6.

Данная модель отличалась от модели 2 тем, что фары у данной модели были несколько большего размера. Увеличение размера фар скрадывает все преимущества модели 2 по сравнению с моделью 4.

В современных конструкциях обтекаемых автомобилей, как например, Крейслер, фары совершенно не выступают из общего контура передней части.

Опыты проф. Лау и опыты автора состояли в исследовании влияния основных контуров автомобиля. Эти опыты велись главным образом в направлении исследования влияния на сопротивление воздуха формы хвоста и передней части.

Опыты проф. Лау были проведены на моделях автомобиля с упрощенной внешней формой, а опыты автора — на моделях обтекаемого автомобиля.

Ниже мы изложим опыты французского инж. Andreau. Свои исследования инж. Andreau проводил на моделях стандартных современных автомобилей. Помимо определения аэродинамического сопротивления всей модели, им была проведена работа по исследованию влияния различных элементов конструкции стандартного автомобиля на общее сопротивление. В своих испытаниях он использовал следующие модели:

1) Модель стандартного автомобиля (фиг. 24).

2) Модель новейшего спортивного автомобиля (фиг. 25).

Основные отличительные черты спортивного автомобиля следующие: переднее стекло наклонено назад под углом $22\frac{1}{2}^\circ$; хвост полуобтекаемой формы; запасное колесо спрятано в хвостовой части.

3) Модель полуобтекаемого автомобиля Майбах (фиг. 26). Переднее стекло в этой модели наклонено назад под углом 45° ; хвост полуобтекаемой формы; передняя часть автомобиля имеет такую же форму, как и остальные автомобили, т. е. не имеет никаких элементов обтекаемости.

Все модели были выполнены очень тщательно и подобие было выдержано достаточно точно не только в верхней части, но и снизу. Во всех опытах, описанных ранее, модели автомобиля снизу ограничивались плоскостью. Вследствие этого получалось отступление в геометрическом подобии.

В опытах инж. Andreau этот недостаток не имел места. Трансмиссия, оси, рессоры, тяги и общие очертания нижней части были выполнены очень тщательно. Модели были сделаны разборные, что позволило производить установку и съемку отдельных частей.

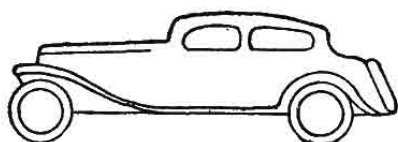
В табл. 13 приведены данные испытаний этих моделей на определение общего сопротивления воздуха.

Таблица 13

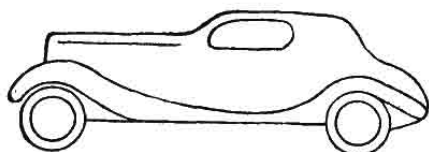
Коэффициент аэродинамического сопротивления моделей автомобиля по опытам инж. Andreau

Наименование моделей	k	Изменение k в %	Изменение скорости в %
Стандартный автомобиль	0,415		
Спортивный " "	0,415		
Полубтекаемый автомобиль	0,395	5	1,6

Как видим, коэффициенты сопротивления этих моделей очень незначительно отличаются друг от друга. Это дает возможность сделать заключение, что в современных автомобилях незначи-



Фиг. 24. Модель стандартного автомобиля.



Фиг. 25. Модель спортивного автомобиля.



Фиг. 26. Модель автомобиля Майбах.

тельные изменения основного контура не дают сколько-либо заметного изменения аэродинамического сопротивления.

Для проверки данных, полученных при испытании моделей в аэродинамической трубе, были проведены дорожные испытания автомобиля. Испытывался спортивный автомобиль. Основные данные следующие:

Максимальная скорость на асфальтовой дороге	140 км/час
Соответствующая мощность двигателя	102 л. с.
Вес автомобиля	1610 кг
Лобовая поверхность	2 м ²

Приняв механический к. п. д. трансмиссии $\eta_m 0,95$, получим тягу на задних колесах $P_n = 186$ кг.

Коэффициент качения для асфальтовой дороги, на которой велись эти испытания, равен $f=0,016$; сопротивление качению $P_f = f \cdot G_a = 0,016 \cdot 1610 = 26$ кг; сопротивление воздуха $P_w = P_n - P_f = 160$ кг (86%).

Коэффициент сопротивления k получается равным 0,415, т. е. имеется полное совпадение результатов испытания моделей в аэродинамической лаборатории и испытаний автомобиля в дорожных условиях.

Исследование по определению влияния на общее сопротивление отдельных элементов конструкции автомобиля заключалось в определении влияния конструкции передних крыльев, фар и обтекаемости нижней части.

Результаты испытаний на определение влияния крыльев на общее аэродинамическое сопротивление приведены в табл. 14.

Таблица 14

Влияние крыльев на общее сопротивление воздуха

Стандартный автомобиль	k	Изменение k в %	Изменение скорости в %
Стандартные крылья	0,45	7,8	14
Обтекаемые "	0,415		
Без крыльев	0,285	36,6	

Стандартные передние крылья дают свободный доступ воздуху ко всей поверхности колеса. Такой тип крыльев установлен на модели стандартного автомобиля (фиг. 24). Обтекаемые крылья закрывают спереди колесо и дают доступ воздуху только к нижней половине колеса. Такие крылья установлены на модели спортивного автомобиля и на модели автомобиля Майбах.

Второй тип крыльев значительно уменьшает общее аэродинамическое сопротивление автомобиля и такой тип крыльев надо рассматривать, как наиболее рациональный с аэродинамической точки зрения. Но все же без крыльев автомобиль испытывает меньшее сопротивление. Крылья, названные здесь обтекаемыми, в действительности обтекаемы только по верхнему контуру; с боков и снизу они не закрывают колеса, что ведет к образованию вихрей. Без крыльев вообще сопротивление модели значительно падает.

Само колесо имеет, конечно, худшую обтекаемость, чем закрывающее его крыло, но колесо имеет меньшую лобовую поверхность, благодаря чему при снятии крыла общее сопротивление модели падает. Падение сопротивления при снятии крыльев можно объяснить также меньшим взаимодействием потоков воздуха, обтекающих капот и колесо.

Результаты исследований на определение влияния конструкции фар на общее аэродинамическое сопротивление приведены в табл. 15.

Таблица 15

Влияние конструкции фар на общее сопротивление воздуха движению автомобиля

Конструкция	k	Изменение k в %	Изменение скорости в %
1. Спортивная модель, обычные фары . . .	0,4		
2. То же, обтекаемые крылья и обтекаемые фары	0,415	3,8	-1,3
3. Майбах, обтекаемые фары	0,43		
4. То же, стандартные крылья без фар . .	0,385	-11	+3,5

Наличие даже обтекаемых фар увеличивает аэродинамическое сопротивление модели на 3,8%.

Объяснение ухудшения обтекаемости всего автомобиля при установке фар следует искать во взаимодействии потоков воздуха, обтекающего капот, крылья и фары. Фары как обтекаемые, так и необтекаемые, значительно увеличивают сопротивление воздуха движению автомобиля. При удалении фар сопротивление для автомобиля Майбах уменьшается на 11%. Такое уменьшение сопротивления воздуха по теоретическим подсчетам данного автомобиля даст увеличение максимальной скорости на 3,5%. Точно такие же результаты были получены в дорожных испытаниях автомобиля. Без фар автомобиль увеличил скорость на 5 км/час, т. е. на те же 3,5%.

Результаты испытаний на определение влияния обтекаемости нижней части приведены в табл. 16.

Таблица 16

Влияние обтекаемости нижней части автомобиля

Спортивная модель, обтекаемые крылья	k	Изменение k в %	Изменение скорости в %
1. Необтекаемый низ кузова	0,415		
2. Обтекаемый низ кузова	0,395	4,8	+1,7

Здесь мы имеем почти полное совпадение с результатами аналогичных исследований, проведенных проф. Lau. Проф. Lau получил при обтекаемой нижней части коэффициент сопротивления автомобиля на 6% ниже, чем коэффициент сопротивления того же автомобиля с необтекаемой нижней частью.

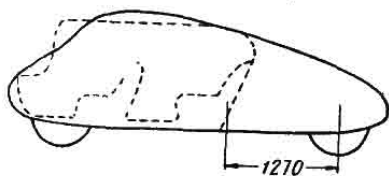
Как видно по результатам опытов инж. Andreau, форма крыльев, фар и нижней части автомобиля значительно сказывается на общем сопротивлении воздуха. Еще в большей степени должны сказаться эти элементы конструкции автомобиля на общем сопротивлении при более обтекаемом внешнем контуре.

Приведенные выше исследования по определению наиболее рациональной внешней формы и по определению влияния отдельных элементов конструкции проводились на моделях автомобиля с двигателем, расположенным в передней части.

Эти исследования говорят, что сопротивление воздуха движению автомобиля, благодаря лучшей обтекаемости, можно уменьшить в 2—3 раза. В большей степени можно повысить обтекаемость автомобиля, поместив двигатель в задней части.

В теоретической главе настоящей книги было установлено, что наименьшее сопротивление воздуха испытывает каплеобразное тело. Основные пропорции этого тела таковы, что максимальное поперечное сечение расположено на расстоянии $\frac{1}{8}$ всей длины от переднего конца. Передний конец более тупой, чем задний.

В обтекаемом автомобиле с двигателем, расположенным в передней части, невозможно выдержать указанные для каплеобразного тела пропорции, так как наибольшее поперечное сечение такого автомобиля, а именно сечение кузова, расположено ближе к задней оси.



Фиг. 27. Модель В.

Поэтому, поместив двигатель в задней части и передвинув кузов вперед, можно получить более правильные основные пропорции.

Elliott G. Reid провел исследование обтекаемости различных моделей автомобиля с двигателем, расположенным в задней части.

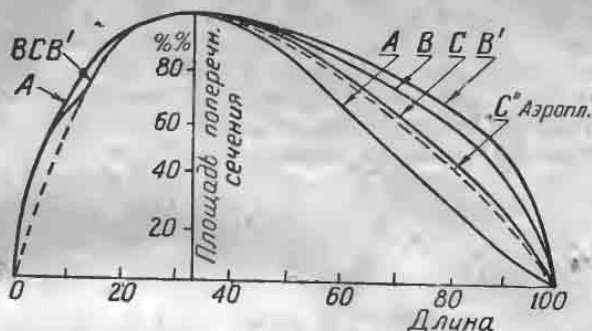
Габариты моделей таковы, что в контур передней части вписывается модель кузова автомобиля Бюик 1933 г. в $\frac{1}{6}$ натуральной величины (фиг. 27). Пересчет на натуральную величину размеров моделей дает базу 3180 мм и колею 1440 мм.

Контур всех моделей очень близко совпадает с контуром фюзеляжа аэроплана. На фиг. 28 приведен график распределения площадей поперечного сечения по длине. Пунктиром приведен график распределения площадей поперечного сечения фюзеляжа аэроплана.

Как видим, все модели автомобилей имеют распределение площадей поперечного сечения такое же, как и в фюзеляже аэроплана.

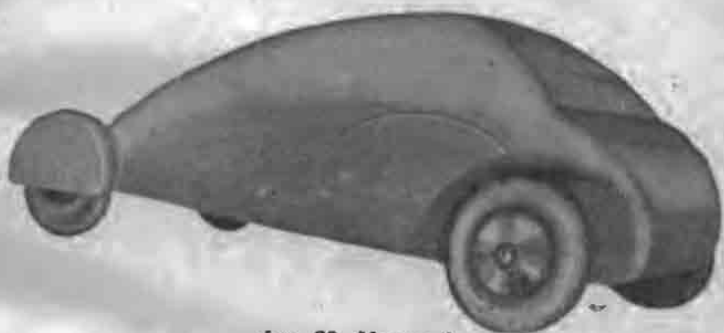
На фиг. 29 представлена основная модель А. Задние колеса и ось в этой модели закрыты обтекателями. Передние колеса открыты. Следующие модели В и С были сконструированы на основании тщательного исследования, проведенного с моделью А. Модель В имеет хвост более широкий, так как колеса

включены в общий контур. Передние колеса закрыты спереди обтекателями. Модель С имеет форму передней части такую, как и модель В. Однако хвост значительно отличается по



Фиг. 28. График распределения площадей поперечного сечения в моделях G. Reid.

своей форме. Колеса также включены в общий контур, но хвост значительно уже, так что колея задних колес в нату-



Фиг. 29. Модель А.

ральную величину составит всего 915 мм. Колея передних колес оставлена 1440 мм.

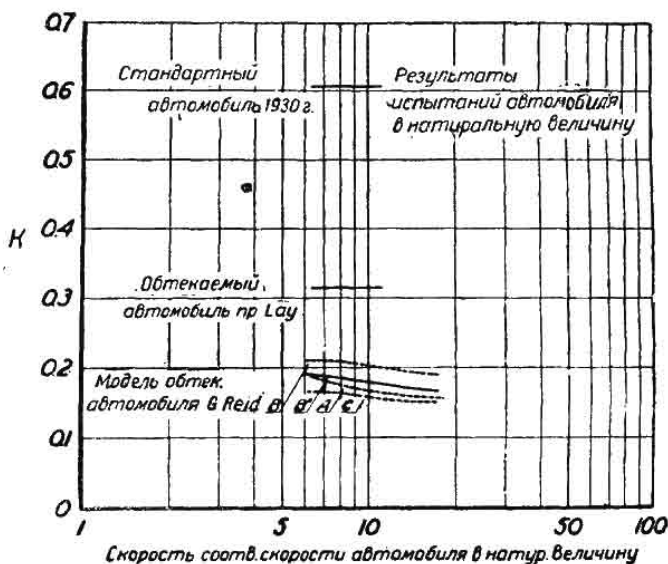
Основные размеры при пересчете на автомобиль в натуральную величину приведены в табл. 17.

Таблица 17
Основные размеры обтекаемых моделей инж. G. Reid

Наименование моделей	Длина в мм	Высота в мм	Ширина в мм
Модель А	4350	1560	1580
" В	4580	1550	1730
" С	4580	1550	1730
" В	4450	1550	1730

Испытания
ной в трубе.

При оценке различных методов определения аэродинамического сопротивления автомобиля, путем испытания моделей в трубах, нами было установлено, что метод испытания одной модели неточен, так как не воспроизводит влияние дороги. Однако опыты, произведенные проф. Lau в аэродинамической лаборатории Мичиганского университета, говорят, что разница в результатах, полученных этим методом и методом испытания двух моделей, установленных зеркально, незначительна и составляет всего 6%.



Фиг. 30. Коэффициенты сопротивления моделей автомобиля G. Reid.

В моделях G. Reid низ сделан абсолютно гладким, переход к нижней части очень плавный. Клиренс составляет $1/6$ высоты всей модели. В этих условиях разница в результатах должна быть еще меньше. Исходя из этих соображений, Reid и применил этот метод испытания, как наиболее простой.

Результаты испытаний всех моделей приведены на графике (фиг. 30). Там же приведены для сравнения данные по обтекаемой модели автомобиля с двигателем в передней части, разработанной проф. Lau, а также данные по сопротивлению стандартного необтекаемого автомобиля.

Здесь на графике значение коэффициента k подсчитано по формуле (7), т. е. значение этого коэффициента ровно в два раза больше коэффициента k , получаемого при подсчете по формуле (6), принятой нами в качестве основной формулы. Скорость на гра-

фике соответств:
чину в миль/час.

Модель В' получена путем небольших изменений из модели В. В модели В' несколько укорочен и приподнят хвост.

Коэффициенты сопротивления всех моделей, разработанных G. Reid, значительно меньше коэффициента сопротивления стандартного автомобиля, а также меньше и коэффициента сопротивления обтекаемого автомобиля проф. Lau. Соотношение примерно таково: по отношению к стандартному автомобилю сопротивление меньше в 4 раза, по отношению к обтекаемому автомобилю с двигателем в передней части сопротивление меньше в 2 раза.

Между отдельными конструкциями моделей автомобиля Reid также имеется довольно заметная разница в обтекаемости.

Опыты, проведенные G. Reid по определению сопротивления отдельных элементов конструкции, позволяют сделать анализ обтекаемости этих моделей.

Результаты этих исследований приведены в табл. 18.

Таблица 18

Сопротивления отдельных элементов конструкции обтекаемых автомобилей инж. G. Reid

Элементы конструкции	Модель А	Модель В	Модель С
Корпус	39,1	79	45
Передние колеса	34,8	23,7	28,0
Задние колеса и ось	26,1	13,7	15,5
	100%	117%	90%

Испытания на определение сопротивления отдельных элементов велись в следующем порядке. Вначале испытывался основной корпус, затем в корпусе вырезались углубления для передних колес, устанавливались передние колеса и определялось сопротивление этой комбинации.

Точно так же это проделывалось и с задними колесами. Для моделей В' эти испытания проведены не были. Модель В' испытывалась только на определение общего сопротивления.

Из табл. 18 видно, что корпус модели В имеет сопротивление значительно большее, чем корпус модели А.

Это объясняется тем, что хвост модели В значительно шире, чем у модели А. Хвост модели В включает в свои габариты и задние колеса, благодаря чему доля сопротивления задних колес в модели В значительно меньше, чем в модели А. Суммарное же сопротивление задних колес и корпуса для моделей А меньше, чем у модели В.

В модели С хвост сделан уже и задние колеса включены в общий контур. Колея задних колес в этом случае значительно меньше. Сопротивление этой модели получилось наименьшее. Практическое использование этой конструкции из-за более узкой колеи задних колес невозможно.

Большое сопротивление передних колес модели А объясняется тем, что спереди колеса совершенно открыты.

Во всех остальных моделях впереди колес сделаны обтекатели, сливающиеся с общим контуром передней части модели.

Проведенные опыты по исследованию влияния отдельных элементов конструкции обтекаемых моделей подтверждают то положение, что в обтекаемых автомобилях сопротивление колес и крыльев имеет относительно большее значение, чем в необтекаемых.

Окончательная конструкция обтекаемого автомобиля с двигателем, расположенным в задней части, отличается от модели В только профилем хвоста. Незначительные изменения профиля хвоста уменьшили сопротивление по отношению к модели В на 12,7%.

Как уже упоминалось выше, коэффициент сопротивления обтекаемого автомобиля с двигателем в задней части меньше коэффициента сопротивления обычного автомобиля в 4 раза. Само же сопротивление фактически еще меньше, так как лобовая поверхность обтекаемого автомобиля при тех же внутренних габаритах меньше, чем лобовая поверхность обычного автомобиля.

Для более точного сравнения обтекаемости автомобилей одного типа с другим нужно брать не коэффициенты сопротивления, а произведение этих коэффициентов на лобовую поверхность. Результаты сравнения даны в табл. 19.

Таблица 19

Обтекаемость различных моделей автомобилей по данным G. Reid

Описание моделей	Лобовая поверхность в м ²	k	kF	kF в %
Автомобиль с необтекаемым кузовом	2,6	0,303	0,79	100
Обтекаемый автомобиль с двигателем в передней части . .	2,8	0,157	0,44	55,5
Модель В'	2,04	0,082	0,167	21,1

Лобовая поверхность обтекаемого автомобиля проф. Lau несколько больше таковой у обычного автомобиля. Объясняется это тем, что в верхней части обтекаемый автомобиль несколько шире.

Значительное уменьшение лобовой поверхности автомобиля G. Reid получилось за счет того, что сидения для пассажиров

в этом автомобиле удалось расположить очень низко, так как под кузовом не проходит трансмиссия.

Необходимо отметить, что получить то же сопротивление воздуха в обтекаемом автомобиле с двигателем в передней части невозможно при условии нормальных габаритных размеров по длине.

Модель 18, разработанная проф. Lau, имеет наилучшую обтекаемость. Коэффициент сопротивления этой модели получился равным 0,06. При лобовой площади в $2,8 \text{ м}^2$ произведение $k \cdot F = 0,167$, т. е. такое же, как и в автомобиле В. Длина модели 18 в 2,6 раза больше базы.

Автомобиль Reid имеет нормальный габаритный размер по длине. Обтекаемость модели автомобиля Reid является предельной для нормальных многоместных автомобилей.

В обтекаемых автомобилях с двигателем в передней части также стремятся применить форму идеально обтекаемого тела, но использовать преимущества такой формы в той мере, как это было сделано инж. G. Reid, не представляется возможным.

Автомобили с двигателем в задней части имеют еще целый ряд преимуществ, о которых будет сказано при описании различных конструкций обтекаемых автомобилей. Такой тип автомобиля, по всей вероятности, в недалеком будущем получит наибольшее распространение.

3. Влияние ветра на сопротивление воздуха движению автомобиля

При работе автомобиля в естественных условиях редко бывает тихая безветренная погода. Обычно дует ветер, достигающий иногда значительной силы. При встречном или попутном ветре сопротивление воздуха легко подсчитать по формуле

$$P_w = \frac{k \rho F (v + w)^2}{3,6^2}, \quad (11)$$

где w —скорость ветра в км/час. Знак плюс берем при встречном ветре, а знак минус при попутном.

На поверхности дороги скорость ветра несколько меньше, но толщина слоя воздуха, двигающегося с замедленной скоростью, очень незначительна и практически влиянием этого фактора на общее сопротивление воздуха можно пренебречь.

Несколько сложнее обстоит дело с подсчетом сопротивления воздуха при боковом ветре. Часто боковому ветру не придают никакого значения, считая, что боковой ветер, дующий перпендикулярно направлению движения автомобиля, не создает никакого аэродинамического эффекта, вызывая лишь небольшое увеличение сопротивления качению за счет боковой деформации шин.

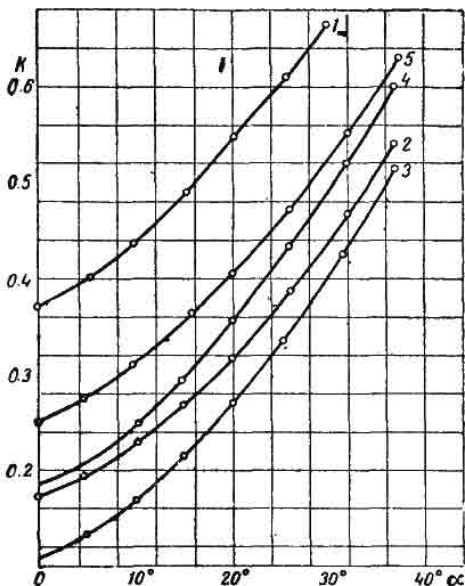
Представим себе автомобиль, двигающийся с определенной скоростью и обдуваемый ветром с боку под углом 90° . Если пренебречь влиянием дороги, трением воздуха о дорогу, то усло-

вия езды будут такими же, как если бы автомобиль обдувался воздухом под некоторым углом со скоростью, равной геометрической сумме скоростей встречного потока воздуха и ветра.

Разберем пример: автомобиль движется со скоростью $v = 52$ км/час и на него с боку дует ветер, под углом 90° со скоростью 30 км/час. Складывая геометрически скорость встречного воздуха и скорость ветра получим:

$$R = v + w = 60 \text{ км/час.} \quad (12)$$

Угол между направлением движения и R в данном случае будет 30° .



Фиг. 31. Изменение коэффициента сопротивления модели автомобиля ГАЗ-А в зависимости от угла обдува.

Раскладываем на два направления — направление ветра и направление движения, получим:

$$P_w = P_{w_\alpha} \cdot \cos \alpha = 26 \text{ кг,} \quad (14)$$

где P_w — составляющая сопротивления воздуха по направлению движения.

Сопротивление, которое приходится преодолевать при движении в случае бокового ветра, оказывается больше, чем без этого ветра.

В этих подсчетах мы сделали допущения, что коэффициент сопротивления k при боковом обдуве тот же, что и при лобовом. Фактически же он значительно больше.

На фиг. 31 представлен график зависимости коэффициента k от угла обдува. Площадь сечения, перпендикулярного потоку воздуха, условно брали равной лобовой поверхности. Продувка велась при скорости потока воздуха 30 м/сек.

Принимая лобовую площадь автомобиля $F = 2,3$ м², коэффициент сопротивления при лобовом обдуве $k = 0,376$, определяем сопротивление воздуха при отсутствии бокового ветра.

$$P_w = \frac{k \cdot \rho \cdot F v^2}{3,6^2} = 22,5 \text{ кг.} \quad (12')$$

Если бы в автомобиле площадь F_2 сечения, перпендикулярного результирующему вектору R , была также 2,3 м² и коэффициент сопротивления воздуха k при обдуве автомобиля с боку также 0,376, то сопротивление при боковом обдуве равнялось:

$$P_{w_\alpha} = \frac{k \rho \cdot F \cdot R^2}{13} = 30 \text{ кг.} \quad (13)$$

Дополнительные продувки при постоянном угле обдува, но с переменной скоростью воздуха показали, что коэффициент сопротивления остается примерно постоянным на всех скоростях, так же как и при лобовом обдуве.

Для обтекаемого автомобиля сопротивление растет гораздо быстрее с увеличением угла обдува, чем у необтекаемого. Для модели 3 коэффициент сопротивления при угле обдува 30° возрастает в 3,5 раза, а для модели 1 в 1,8. Это объясняется тем, что с увеличением угла обдува в обтекаемой модели площадь сечения, перпендикулярного потоку воздуха, растет быстрее, и все же, несмотря на большое поперечное сечение, сопротивление обтекаемой модели 3 не превышает сопротивления модели 1 при лобовом обдуве.

При подсчете сопротивления воздуха при боковом ветре необходимо вначале определить угол между скоростью движения и результирующей скорости ветра и скорости движения, т. е. угол обдува, а затем по графику, зная этот угол, найти и соответствующее значение k .

Сопротивление будет равняться:

$$P_w = \frac{k \cdot \rho \cdot F \cdot R^2}{13} \cdot \cos \alpha, \quad (15)$$

где R —результирующая скорость воздуха относительно автомобиля; α —угол обдува.

При угле обдува в 30° k для данной модели равен 0,667. Следовательно,

$$\begin{aligned} P_w &= \frac{k \cdot \rho \cdot F \cdot R^2}{13} \cdot \cos \alpha = \\ &= \frac{0,667 \cdot 0,125 \cdot 2,3 \cdot 3600}{13} \cdot 0,866 = 46 \text{ кг}. \end{aligned} \quad (16)$$

Боковой ветер, дующий со скоростью 30 км/час под углом 90° к направлению движения, при скорости автомобиля 52 км/час увеличивает сопротивление больше чем в 2 раза. Полученные опытные данные говорят, что боковой ветер значительно влияет на аэродинамическое сопротивление автомобиля.

Французским инж. Andreau были проведены подробные исследования влияния бокового ветра. В дополнение к исследованию влияния бокового ветра на лобовое сопротивление им были проведены опыты по исследованию влияния бокового ветра на устойчивость автомобиля.

При исследовании влияния бокового ветра модели устанавливались под различными углами к потоку воздуха.

Для удобства пользования результаты испытаний обработаны таким образом, что дают возможность быстрого подсчета как лобового сопротивления, так и давления воздуха на автомобиль с боку.

На фиг. 32 приведен график отношений

$$\frac{k_x}{k} \text{ и } \frac{k_y}{k} \quad (17)$$

в зависимости от отношения $\frac{u}{v}$.

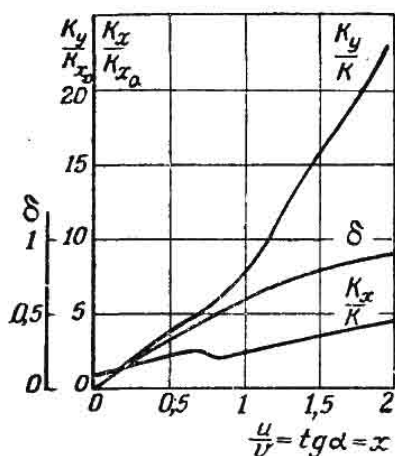
Здесь k_x — коэффициент лобового сопротивления при боковом ветре;
 k — коэффициент лобового сопротивления при отсутствии бокового ветра;
 k_y — коэффициент бокового сопротивления;
 u — скорость ветра, дующего под углом 90° ;
 v — скорость автомобиля.

Предположим, автомобиль движется со скоростью v . Боковой ветер дует с такой скоростью, что отношение $\frac{u}{v} = 0,5$. Тогда лобовое сопротивление воздуха движению автомобиля будет:

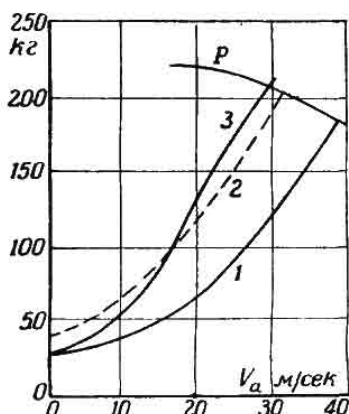
$$P_w\left(\frac{u}{v}\right) = k_x \cdot \rho F \cdot v^2; \quad k_x = 2,5 k; \quad (18)$$

$$P_w\left(\frac{u}{v}\right) = 2,5 \cdot P_w, \quad (19)$$

т. е. сопротивление воздуха при боковом ветре в 2,5 раза больше сопротивления воздуха при отсутствии ветра.



Фиг. 32. Изменение коэффициента лобового и бокового сопротивления модели спортивного автомобиля в зависимости от отношения $\frac{u}{v}$.



Фиг. 33. Тяговый баланс автомобиля при ветре.

Боковое давление на автомобиль будет при этих условиях в 3,6 раза больше лобового сопротивления при отсутствии ветра. Подсчитаем сопротивление воздуха движению автомобиля на различных скоростях при боковом ветре, дующем со скоростью в 10 м/сек. Ветер такой силы обычное явление в наших условиях.

Основные данные по автомобилю возьмем следующие:

Вес автомобиля	1905 кг
Лобовая поверхность	2 м ²
Коэффициент сопротивления k	0,415
Мощность двигателя	102 л. с.
Механический к. п. д. трансмиссии	0,95
Коэффициент качения f	0,016

На фиг. 33 приведен тяговый баланс этого автомобиля.

Верхняя кривая — тяга на колесах в кг. Кривая 1 — сопротивление воздуха при отсутствии ветра; максимальная скорость при этом получилась равной 140 км/час. Кривая 2 — сопротивление воздуха при встречном ветре силой в 10 м/сек; автомобиль в этих условиях может развить максимальную скорость 112 км/час.

При боковом ветре, дующем со скоростью в 10 м/сек, сопротивление воздуха изменяется по кривой 3. До скорости автомобиля в 58 км/час сопротивление воздуха будет меньше, чем при встречном ветре; выше 58 км/час сопротивление будет больше, чем при встречном ветре. Максимальная скорость при этом снижается до 106 км/час.

4. Влияние бокового ветра на устойчивость

Боковой ветер, помимо значительного увеличения сопротивления движению автомобиля, сказывается также на устойчивости хода. Первая и единственная работа по исследованию бокового ветра на устойчивость хода была проведена инж. Andreau.

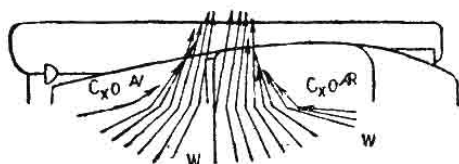
Исследования эти проводились на моделях в аэродинамической трубе. Так же, как и при исследовании аэродинамического лобового сопротивления, испытывались две модели, установленные одна относительно другой в зеркальном отображении. Модели крепились таким образом, что могли свободно вращаться вокруг вертикальной оси.

Положение самой оси крепления было переменное при различных опытах. Ось крепления могла устанавливаться в любой точке продольной оси автомобиля. При положении оси вращения впереди нулевого метacentра¹, модель оставалась в устойчивом состоянии в потоке воздуха. При положении оси в нулевом метacentре состояние модели неустойчивое. Помещая ось за нулевой метacentр, модель поворачивалась на определенный угол α .

Замеряя аэродинамические силы, действующие на модель в направлении потока воздуха и в направлении, перпендикулярном потоку, получали величину и направление результирующей.

Раскладывая эту результирующую на направление продольной оси автомобиля и на направление поперечной оси, получаем лобовое и боковое сопротивление.

На фиг. 34 дан план модели автомобиля с указанием поло-



Фиг. 34. Положение метacentров в автомобиле.

¹ Метacentром названа точка пересечения равнодействующей аэродинамических сил продольной оси автомобиля. Здесь сделано допущение, что равнодействующая аэродинамических сил расположена в горизонтальной плоскости. Нулевой метacentр — точка пересечения равнодействующей аэродинамических сил при угле обдува близком к нулю. Метacentр 90° — точка пересечения продольной оси автомобиля равнодействующей аэродинамических сил при угле обдува в 90°.

жения метацентров, углов обдува, а также направления и величины равнодействующей. Положение метацентра обозначено точкой пересечения двух прямых, из которых нижняя дает направление обдува, а верхняя, со стрелкой, направление и величину результирующей аэродинамических сил.

Так же, как и значение лобового и бокового сопротивления, расстояние метацентров от нулевого метацентра δ приведено в зависимости от соотношения $\frac{u}{v}$ (фиг. 32). Здесь α — угол обдува модели.

При движении автомобиля со скоростью v при боковом ветре u , дующем под углом 90° к направлению движения $\operatorname{tg} \alpha = \frac{u}{v} = x$. Эмпирическая зависимость δ от отношения $\frac{u}{v} = x$ имеет следующий вид:

$$\delta = \frac{x + 1,042 x^2}{1,56 + x + 1,021 x^2}. \quad (20)$$

Вне зависимости от того, будет ли ветер справа или слева, δ всегда имеет положительный знак.

Нулевой метацентр расположен на расстоянии $\frac{1}{5}$ базы от передней оси к центру тяжести. Возможно, что для автомобиля в натуральную величину нулевой метацентр помещается немного ближе к передней оси. Метацентр 90° расположен на уровне переднего стекла.

Рассматривая действия равнодействующей аэродинамических сил относительно центра тяжести, называют тело аэродинамически устойчивым, если оно поворачивается навстречу ветру, или наоборот, если оно стремится увеличить угол к боковому ветру, то тело неустойчивое. Все зависит от положения центра тяжести по отношению к равнодействующей аэродинамических сил.

Могут быть следующие возможные случаи расположения центра тяжести:

- 1) впереди нулевого метацентра — устойчивое тело;
- 2) в нулевом метацентре — безразличное;
- 3) позади нулевого метацентра, но впереди метацентра 90° — неустойчивое в пределах угла отклонения $\pm \alpha$;
- 4) позади метацентра 90° — тело неустойчивое в любых пределах отношения $\frac{u}{v}$.

Последний случай применим как раз к автомобилям.

Предположим, что центр тяжести помещается позади нулевого метацентра на расстоянии d . Тогда момент сопротивления воздуха относительно центра тяжести будет равен

$$C_m = (\delta - d) \rho \cdot F \cdot v^2 \cdot k_y. \quad (21)$$

Коэффициент бокового сопротивления k_y меняется в зависимости от отношения $\frac{u}{v} = \operatorname{tg} \alpha = x$.

Для кри
имеет вид:

$$k_y = 5,42x + 1,47x^3 - 0,0507x^5. \quad (22)$$

Тогда момент сопротивления воздуха относительно центра тяжести может быть выражен аналитически следующей формулой:

$$C_m = \rho \cdot F \cdot v^2 \left(\frac{x + 1,04x^2}{1,56 + x + 1,02x^2} - d \right) (5,42x + 1,47x^3 - 0,0507x^5). \quad (23)$$

Практически пользоваться подобным выражением затруднительно и при этом обычно применяют диаграммы.

Аналитическое выражение моментов сопротивления воздуха позволяет определить коэффициент аэродинамической стабилизации автомобиля.

Под коэффициентом аэродинамической стабилизации принимается вторая производная от момента сопротивления воздуха относительно нулевого метacentра, т. е. в нашем случае при $d=0$ и $x=0$.

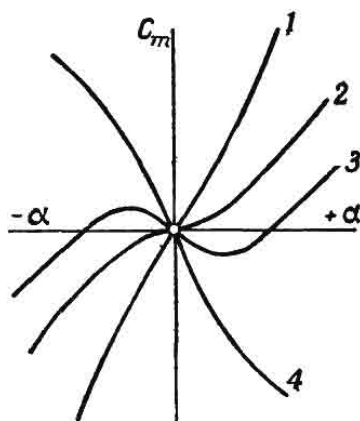
Для модели спортивного автомобиля коэффициент стабилизации будет:

$$A_0 = \frac{d^2 C_{m0}}{dx^2} = \frac{C_{m0}}{\rho F v^2} = +6,95. \quad (24)$$

Эта величина не зависит ни от скорости ветра, ни от скорости движения, ни от положения центра тяжести, а зависит только от внешней формы. Она дает представление о том, с какой интенсивностью возрастает момент сопротивления воздуха. Чем больше эта величина, тем быстрее нарастает момент и, следовательно, автомобиль менее устойчив.

На фиг. 35 представлено графически примерное изменение момента сопротивления воздуха относительно центра тяжести. При этом даны все 4 возможных случая положения центра тяжести по отношению к нулевому метacentру. Кривая 1 представляет изменение момента сопротивления воздуха при положении центра тяжести впереди нулевого метacentра. Как видим, с увеличением угла обдува, момент резко возрастает и является положительным, т. е. стремится повернуть дело на встречу к потоку ветра.

Кривая 2 показывает изменение момента сопротивления воздуха при совпадении центра тяжести с нулевым метacentром. В этом случае при малых углах обдува положение безразличное — не возникает никакого стабилизирующего момента. Только с увеличением угла обдува появляется момент и начи-



Фиг. 35. Изменение момента сопротивления воздуха.

нает возрастать, хотя и не так интенсивно, как для первого случая.

Кривая 3 представляет изменение момента сопротивления воздуха при положении центра тяжести между нулевым метацентром и метацентром 90° . В этом случае тело неустойчивое в пределах некоторого угла α , т. е. момент сопротивления воздуха в пределах этого угла обдува стремится повернуть тело по направлению ветра. С увеличением угла обдува этот момент вначале возрастает, затем падает и при некоторой величине α равен нулю. Затем момент начинает опять возрастать, но имеет уже положительный знак, т. е. стремится повернуть автомобиль на встречу потоку.

Кривая 4 показывает изменение момента сопротивления воздуха при положении центра тяжести за метацентром 90° . В этом случае при любых углах обдува тело неустойчиво, т. е. момент сопротивления воздуха стремится повернуть тело по направлению потока. По опытным данным инж. Andreau, последний случай изменения момента сопротивления воздуха применим как раз к автомобилям. Обтекаемые автомобили без оперения так же (даже больше) неустойчивы, как и стандартные машины.

Так как нулевой метацентр для обтекаемых тел сдвинут еще больше вперед, то момент сопротивления относительно центра тяжести, несмотря на меньшую силу сопротивления воздуха, может быть больше, так как плечо больше. Чтобы сделать машину более устойчивой, в обтекаемых автомобилях применяют плавники в хвостовой части.

В этом случае равнодействующая аэродинамических сил передвигается ближе к центру тяжести. Плечо становится меньше, но зато сила бокового давления больше благодаря увеличению боковой площади.

Для каждой конструкции необходимо, путем исследования, находить такое соотношение, когда момент аэродинамических сил можно получить незначительным при незначительном увеличении силы бокового давления.

Боковое давление ветра воспринимается передними и задними колесами. В тех случаях, когда коэффициент сцепления шин с дорогой получается незначительным, сила бокового давления воздуха может вызвать занос автомобиля. Так на мокром асфальте коэффициент сцепления может упасть до 0,1.

Сила сцепления передних колес с дорогой равна ψG_1 , где ψ — коэффициент сцепления шин с дорогой; G_1 — вес, приходящийся на передние колеса в момент движения.

Сила сцепления задних колес с дорогой равна ψG_2 , где G_2 — вес, приходящийся на заднюю ось.

Опытные данные, полученные при испытании моделей, были пересчитаны на автомобиль натуральной величины.

На фиг. 36 кривая F_1 представляет силу бокового давления на передние колеса автомобиля и F_2 — силу бокового давления на задние колеса.

Сила F_1 больше, чем F_2 . Это становится понятным, если мы

вспомним расположение равнодействующей аэродинамических сил. Равнодействующая пересекает продольную ось автомобиля ближе к передней оси. Чем больше скорость движения, т. е. чем меньше угол обдува, тем ближе равнодействующая приближается к передней оси и тем большая часть бокового давления передается на передние колеса.

На кривой F_1 нанесены крестами значения ψG_1 для случая $\psi = 0,1; 0,15$ и $0,2$.

Сила сцепления передних колес с дорогой будет равна силе бокового давления, приходящегося на передние колеса. Малейшее увеличение бокового давления вызывает занос передних колес.

Задние колеса находятся в более худшем положении. В дополнение к боковой силе F_2 существует еще тяговое усилие, действующее в направлении главной оси автомобиля; суммарная сила, прилагаемая к задним колесам, будет равна геометрической сумме этих двух сил.

На графике (фиг. 36) пределы возможных скоростей по условию заноса задних колес нанесены на кривой P —сопротивления движению. Так, например, при коэффициенте сцепления $\psi = 0,15$ предельная скорость получается равной $22,8$ м/сек (82 км/час).

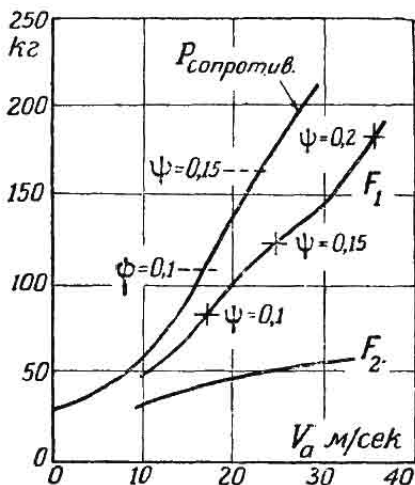
При сбрасывании газа исчезает тяговое усилие и тогда на задние колеса действует только одно боковое давление воздуха, вследствие чего сразу уменьшается опасность заноса.

Мы рассмотрели условия заноса для случая устойчивого бокового ветра, дующего со скоростью 10 м/сек. Однако обычно ветер дует порывами. По метеорологическим данным колебание в силе ветра достигает 25% , т. е. при средней скорости ветра в 10 м/сек скорость меняется от 8 до $12,5$ м/сек.

При боковом ветре в 10 м/сек максимально допустимая скорость (по условию заноса) равняется 82 км/час. Для безопасности ограничим скорость до 65 км/час и посмотрим устойчивость хода при порывистом ветре.

F_1 при ветре 8 м/сек равно всего 91 кг, но при порыве силой в 12 м/сек F_1 возрастает до 183 кг. Сила сцепления передних колес при $\psi = 0,15$ равна всего 124 кг. Следовательно, на этой скорости автомобиль моментально занесет.

В этих условиях ничто не может предотвратить занос. Руль бесполезен, сбрасывание газа увеличивает вес на переднюю ось,



Фиг. 36. Сила бокового давления на колеса.

но это увеличение очень незначительное. Торможение только увеличивает опасность заноса, так как в дополнение к боковой силе прибавляется тормозное усилие передних колес. Ускорение дает дополнительный импульс к заносу.

Как только занос начался, сила F_1 резко возрастает за счет большего угла обдува и вращательное движение автомобиля ускоряется.

Единственная сила, противодействующая в данном случае заносу, это инерционный момент автомобиля относительно задней оси.

Иногда несчастные случаи, произошедшие в дождливую и ветряную погоду, можно объяснить именно влиянием бокового ветра. Обычно в таких случаях совершенно упускают из виду влияние ветра и причину несчастного случая ищут в неисправности рулевого управления или исключительно в плохом сцеплении шин с дорогой.

Несчастный случай при боковом ветре может произойти не только из-за заноса. Боковое давление воздуха действует на рулевое управление так же, как и соответствующий боковой наклон дороги.

Так при движении автомобиля с максимальной скоростью в 105 км/час при боковом ветре, дующем со скоростью 10 м/сек, боковое давление соответствует боковому наклону дороги в 17°. Рулевой механизм, чувствительный к боковому наклону дороги, также будет чувствителен и к боковому давлению ветра.

Если шоферу при движении автомобиля по шоссе с боковым наклоном приходится все время прилагать усилие к рулевому колесу, то точно так же ему приходится прилагать усилие и при боковом ветре.

При быстром затухании бокового ветра, например при въезде на лесной участок шоссе или в выемку, действие бокового ветра мгновенно прекращается и то усилие, с которым шофер удерживал до этого момента рулевое колесо, повернет автомобиль. Аналогичное явление получается и при обгоне автомобиля. Разберем такой случай.

Предположим, что ветер дует справа. При обгоне автомобиля с левой стороны, около обгоняемого автомобиля прекращается действие бокового ветра и то усилие, которое шофер прилагал к рулевому колесу, чтобы противодействовать боковому ветру, может повернуть автомобиль в сторону обгоняемого. В результате этого может быть столкновение.

На поворотах опасность заноса в условиях бокового ветра увеличивается. При боковом ветре, дующем с той стороны, куда поворачивает автомобиль, к боковому давлению прибавляется центробежная сила. Ветер, дующий с противоположной стороны, помогает повороту.

5. Спектр давления на поверхность автомобиля

Все изложенные выше опыты дают представление о количественной стороне явления сопротивления воздуха движению автомобиля.

В теоретической главе настоящей книги было установлено, что аэродинамическое сопротивление автомобиля в основном является сопротивлением формы, т. е. аэродинамическое сопротивление есть результирующая нормальных давлений на внешнюю поверхность автомобиля.

Если бы не было вихреобразований, то результирующая равнялась нулю. Следовательно, по характеру распределения давлений на внешней поверхности автомобиля и по характеру обтекания, а именно по степени интенсивности вихреобразований, можно судить об обтекаемости той или иной конструкции.

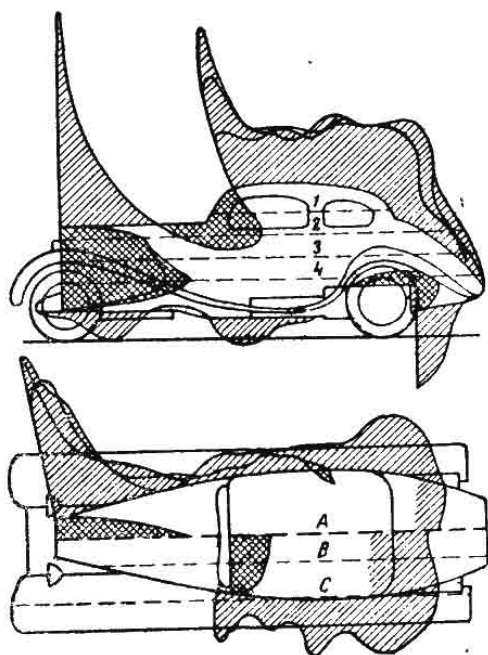
Исследования спектра давлений на поверхность автомобиля и характера обтекания проводились в большинстве случаев на моделях в аэродинамических трубах.

В качестве примера таких работ остановимся вначале на опытах инж. Andreaeu, а затем осветим и работы, проведенные автором в аэродинамической лаборатории им. Жуковского.

В опытах Andreaeu эти исследования проводились на модели спортивного автомобиля. Модель дренажировалась по сечениям 1, 2, 3 и 4 и А, В и С (фиг. 37). Отверстия располагались на расстоянии 20 мм. Эти отверстия закрывались при помощи пробок. Внутренняя полость, с которой сообщались все отверстия, в свою очередь была соединена с очень чувствительным манометром. Удаляя ту или иную пробку, манометр фиксировал соответствующее давление или разрежение.

Испытания велись при скорости продувки в 20 м/сек. Нормальное давление на поверхность модели в каждом сечении изображено графически. Давление обозначено линией внутри контура модели, разрежение — снаружи.

Рассматривая график (фиг. 37), нужно сказать, что большая часть поверхности автомобиля находится под разрежением. Давление имеется: на поверхности радиатора, переднем стекле, на передней части задних крыльев и на задней части капота. Передняя часть бензобака, расположенного сзади, также находится под давлением. В этом отношении авто-

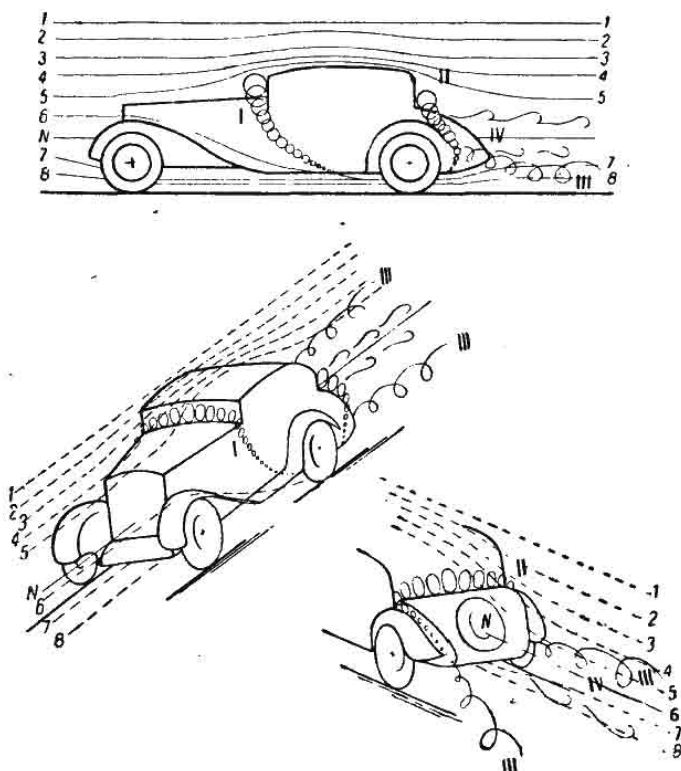


Фиг. 37. Спектр давления на модели спортивного автомобиля.

мобили с гладкой поверхностью в нижней части имеют преимуще-
ства.

Величина нормального давления в той или иной точке по-
верхности автомобиля позволяет определить относительную
скорость ¹ в этой точке.

Характер потока воздуха около модели показан на фиг. 38.
Этот поток состоит из следующих струй и вихрей:



Фиг. 38. Характер обтекания воздухом модели спортивного
автомобиля.

- 1) неразрывных струй I—8;
- 2) двух устойчивых вихрей I—II;
- 3) двух неустойчивых вихрей III;
- 4) вихря IV.

Нейтральная линия расположена на $\frac{1}{3}$ высоты радиатора.
Струя 6 отклоняется в сторону и вниз и соединяется с устойчи-
вым вихрем I, идущим от переднего стекла. Вихрь I уходит под
заднее крыло и, выходя из-под крыла, соединяется с вихрем II.
Продолжением вихрей I и II будет вихрь III.

¹ Относительной скоростью мы здесь называем разность между скоростью
воздуха в данной точке и скоростью потока в трубе. В нейтральной точке там,
где давление равно нулю, относительная скорость воздуха равна нулю.

Аналогичные опыты по исследованию спектров давления и характера потока были проведены в аэродинамической лаборатории им. Жуковского МАИ на моделях автомобиля Форд-А с кузовом Тюдор и с обтекаемым кузовом.

Картина распределения давления и характер потока около необтекаемой модели имеет полное совпадение с данными, полученными инж. Andreau.

Исследование характера потока производилось при помощи шелковинок, прикрепленных к поверхности модели. Чтобы само



Фиг. 39. Поток воздуха около необтекаемой модели автомобиля ГАЗ-А.

крепление шелковинок не создавало завихрений, шелковинки вставлялись в дренажные трубки, выведенные на поверхность автомобиля для замера спектра давления.

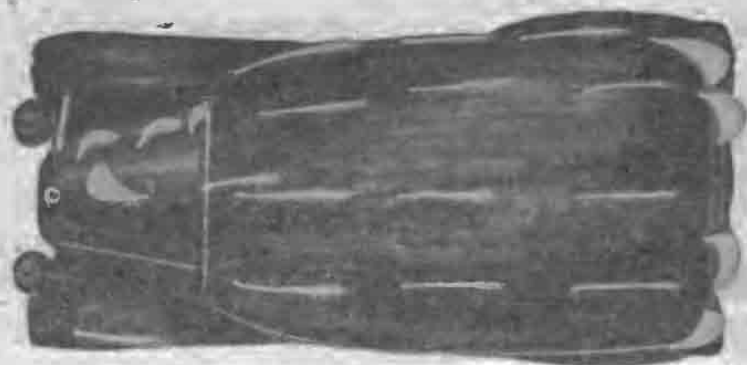
В момент продувки модели шелковинки принимали направление потока воздуха. В тех местах, где поток воздуха неустойчив, где образуются вихри, шелковинки не имели устойчивого положения и колебались в определенных пределах. При фотографировании колеблющиеся шелковинки давали спектр „размыва“.

На фиг. 39 и 40 представлены фотографии модели с шелковинкой в момент продувки модели.

Положение шелковинок позволяет установить следующую картину потока воздуха. Перед ветровым стеклом имеется область завихрений. Вихри здесь настолько интенсивны, что при скорости продувки в 20 м/сек заходят до середины капота. На

фиг. 40 шелковинка, расположенная на продольной оси автомобиля в середине капота, направлена на встречу основному потоку воздуха, т. е. по капоту идет струя воздуха на встречу движению. От ветрового стекла одна часть воздуха направляется над крышей без вихрей, как это показывают шелковинки, расположенные на крыше модели; другая часть спускается вниз к задним колесам. Этот поток, так же как и у спортивной модели в опытах инж. Andreau, является продолжением вихревого движения у ветрового стекла.

Шелковинки, расположенные по бокам капота, дают „размыв“. За задком на уровне задних крыльев образуются два очень сильных устойчивых вихря. В верхней части задка также имеются вихреобразования. Следовательно, вся область сзади автомобиля заполнена вихрями.



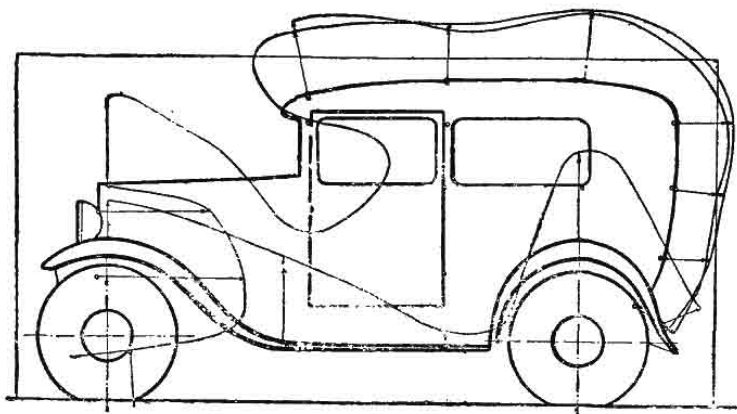
Фиг. 40. Поток воздуха около необтекаемой модели автомобиля ГАЗ-А.

Спектр давления (фиг. 41а, 41б, 42) также напоминает картину распределения давления на модели спортивного автомобиля, а именно, имеется давление на радиаторе, на задней части капота, на ветровом стекле и на передней части задних крыльев.

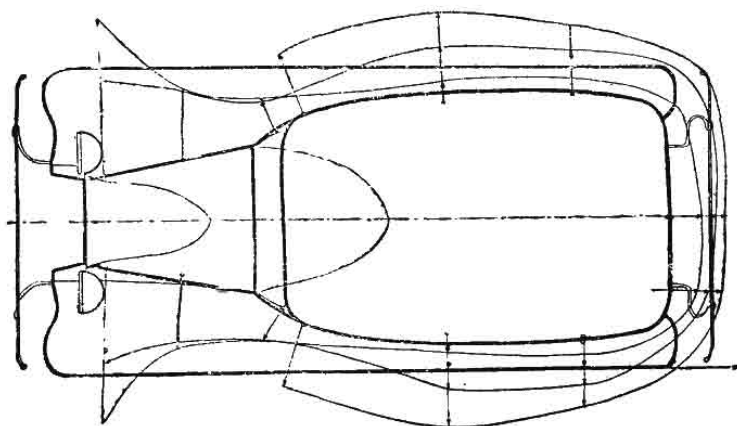
Вся остальная поверхность автомобиля находится под разрежением.

Большое сопротивление этой модели становится понятным при анализе спектра давления. Все передние вертикальные поверхности автомобиля, перпендикулярные потоку воздуха (радиатор, ветровое стекло, передняя часть задних крыльев), находятся под давлением, а вся задняя поверхность под разрежением. В результате получается сила сопротивления значительной величины.

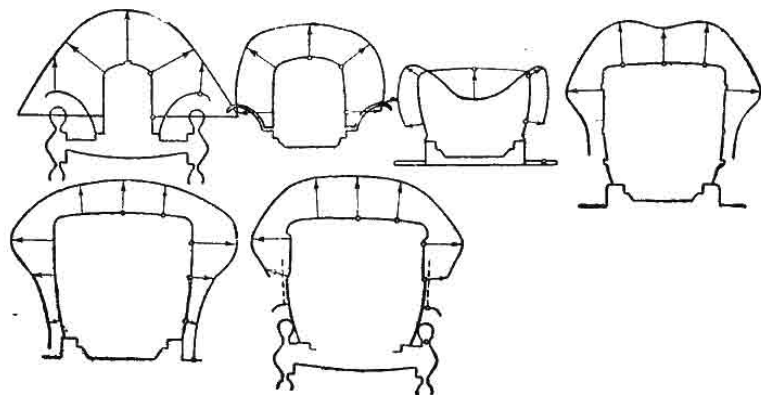
Несколько другую картину обтекания дает модель обтекаемого автомобиля, где воздух плавно обтекает всю модель (43а, 43б). Только за задними крыльями воздух дает два симметричных небольших устойчивых вихря, аналогичных таким же вихрям, наблюдаемым у необтекаемой модели. У обтекаемой модели нет вихрей: впереди ветрового стекла, вихрей, идущих по обеим



Фиг. 41а. Спектр давления на модели необтекаемого автомобиля ГАЗ-А.

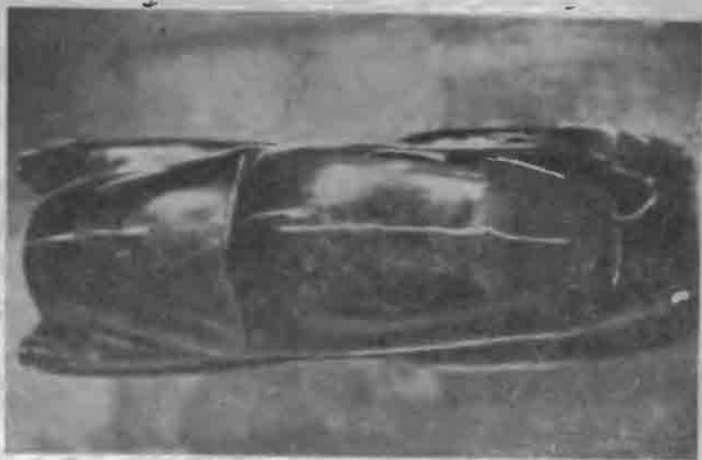


Фиг. 41б. Спектр давления на модели необтекаемого автомобиля ГАЗ-А.



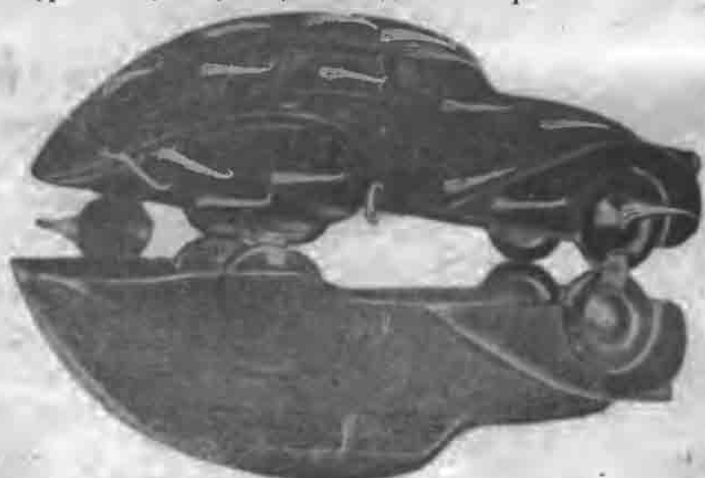
Фиг. 42. Спектр давления на модели необтекаемого автомобиля ГАЗ-А.

сторонам капота, а также и в верхней части хвоста. Сзади воздух плавно обтекает автомобиль, опускаясь до уровня задних крыльев, где образуются, как уже упоминалось выше, два небольших устойчивых вихря.



Фиг. 43а. Поток воздуха около обтекаемого автомобиля

Картина распределения давления увязывается с характером потока (фиг. 44а, 44б, 44в). На задней поверхности мы не имеем

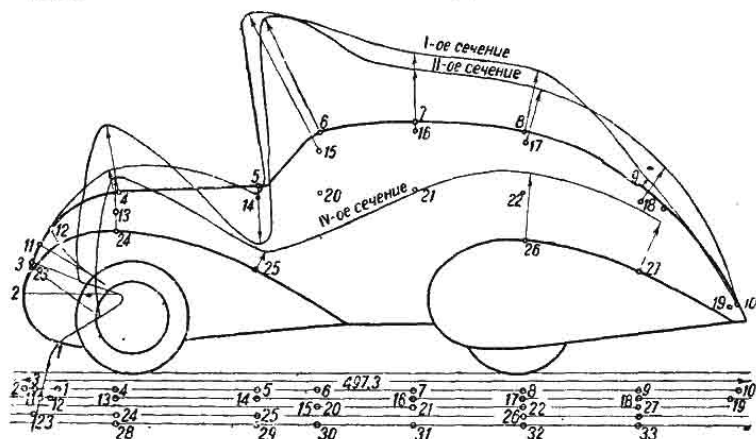


Фиг. 43б. Поток воздуха около обтекаемого автомобиля.

такого разрежения, как в необтекаемой модели; в нижней части хвоста наблюдается даже незначительный подпор, давление на переднюю часть модели также меньше, чем в необтекаемой модели.

Поперечное сечение приведено для того, чтобы ориентироваться по нумерации точек спектра давления, нанесенных на профиле и плане обеих моделей.

Сечение I дает характер распределения давления на поверхность вдоль главной оси в обеих моделях. Остальные сечения

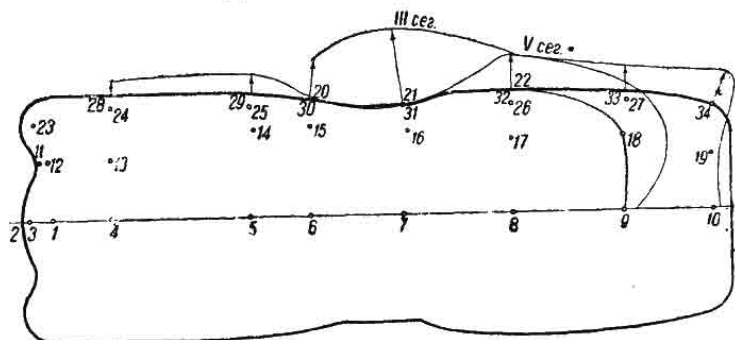


Фиг. 44а. Спектр давления на модели обтекаемого автомобиля.

не следуют строго прямой линии и проведены по наиболее выпуклым и характерным местам.

Спектры давления построены на основании данных продувки моделей при скорости потока воздуха в 20 м/сек.

Давление отложено нормально к поверхности, вернее — нормально к линии контура.

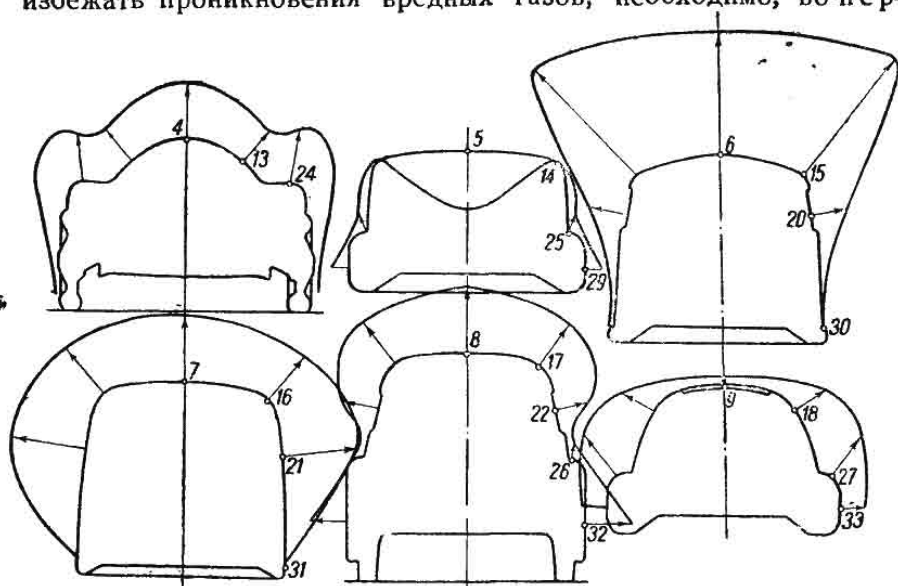


Фиг. 44б. Спектр давления на модели обтекаемого автомобиля.

Диаграмма распределения давления по поверхности дает возможность правильно решить вопрос о вентиляции кузова. Из диаграммы видно, что большая часть поверхности кузова находится под разрежением. Поэтому какие-либо неплотности в дверях, полу и т. п. создают разрежение и внутри кузова.

Благодаря разрежению внутри кузова воздух из области повышенного давления начнет проникать в кузов.

Воздух, идущий из-под капота двигателя, где имеется повышенное давление, обычно испорчен вредными газами. Чтобы избежать проникновения вредных газов, необходимо, во-пер-



Фиг. 44в. Спектр давления на модели обтекаемого автомобиля.

в ы х, — уменьшить разрежение внутри кузова за счет уничтожения отсоса и, во-втор ых, — делать наддув в кузов свежего воздуха через специальные вентиляционные отдушины, расположенные в местах повышенного давления на поверхности кузова, а именно в задней части капота.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА ПУТЕМ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЯ В ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

Метод испытания моделей в аэродинамических трубах позволяет в лабораторной обстановке, вне зависимости от метеорологических условий, проводить исследования обтекаемости автомобилей.

Этот метод испытания, как мы видим, дает возможность выявить даже незначительное влияние отдельных элементов конструкции автомобиля на обтекаемость. Этим методом было выяснено влияние бокового ветра на лобовое сопротивление и на устойчивость хода автомобилей. И все же, несмотря на целый ряд положительных сторон, этот метод имеет также и отрицательные стороны. Основной недостаток заключается в неточности осуществления подобия обтекания.

Прежде всего при испытаниях в трубах не выполняется закон динамического подобия в отношении равенства рейнольдсовых чисел. Обычно исходя из размеров аэродинамических труб, модели выполняются в $1/10$ натуральной величины.

Как сказано ранее, скорость движения потока в трубах редко превышает 50 м/сек. Чтобы получить те же рейнольдсовы числа, что и при движении автомобиля, необходимо было бы доводить скорость продувки до 200—300 м/сек. Это трудно выполнимо, так как требуется очень мощная силовая установка. Кроме того, на скорости, близкой 300 м/сек, характер потока воздуха вокруг машины резко изменяется, сопротивление возрастает уже не пропорционально квадрату скорости, а в большей степени. В этом случае не применим закон подобия Рейнольдса.

Помимо того, что мы не можем получить одинаковые рейнольдсовы числа, при испытании в трубах неточно воспроизводится подобие обтекания и по целому ряду других причин.

При продувке модели совершенно невозможно воспроизвести более или менее точно влияние радиатора и жалюзи в капоте на общий поток воздуха около автомобиля.

При продувке моделей колеса остаются неподвижными, тогда как при движении автомобиля они вращаются и как-то влияют на общий поток. Особенно же влияет на неточность подобия невозможность воспроизвести влияние дороги.

Экспериментальной аэродинамикой на основании многочисленных опытов установлено, что для плохо обтекаемых тел, а к таким можно, с точки зрения аэродинамики, отнести и обтекаемые автомобили, коэффициент сопротивления не изменится с увеличением рейнольдсова числа. Это обстоятельство в значительной степени компенсирует неточность метода определения коэффициента сопротивления путем испытания модели из-за несоблюдения закона аэродинамического подобия в отношении равенства рейнольдсовых чисел.

Незначительное расхождение коэффициентов сопротивления, полученных различными исследователями при испытании моделей и при испытании автомобиля в натуре, следует объяснить в первую очередь неточностью соблюдения подобия при испытании моделей в отношении воспроизведения влияния дороги, радиатора и вращающихся колес.

Дорожные испытания автомобиля позволяют проверить результаты, полученные при испытании моделей в аэродинамических трубах. Наиболее полные исследования обтекаемости автомобиля, опубликованные в иностранной технической литературе, проводились путем сопоставления испытаний моделей в аэродинамических трубах и дорожных испытаний автомобиля.

Существует несколько методов определения сопротивления воздуха путем испытания автомобиля в дорожных условиях. Наиболее распространенным является метод определения сопротивления по максимальной скорости и по затуханию скорости автомобиля.

При определении сопротивления воздуха автомобиля ГАЗ-А с обтекаемым кузовом и с кузовом фэтон, автор применял эти два метода.

Дорожные испытания проводились в экспериментальном цехе автозавода им. Молотова. Обе машины испытывались с одним и тем же двигателем, предварительно испытанным на стенде.

Лабораторные испытания заключались в снятии внешней и дроссельных характеристик. Жиклеры карбюратора были подобраны по верхнему пределу допусков на истечение, обеспечивающих более устойчивую работу мотора.

Двигатель по своим тяговым и экономическим качествам дал удовлетворительные результаты.

Максимальная мощность, развиваемая мотором со стандартной головкой, при степени сжатия $\epsilon = 4,15$ равняется 39 л. с. при $n = 2300$ об/мин (внешняя характеристика 2, фиг. 45). С алюминиевой головкой при степени сжатия $\epsilon = 5,45$ этот же двигатель развил 48,5 л. с. при 2600 об/мин (внешняя характеристика 1).

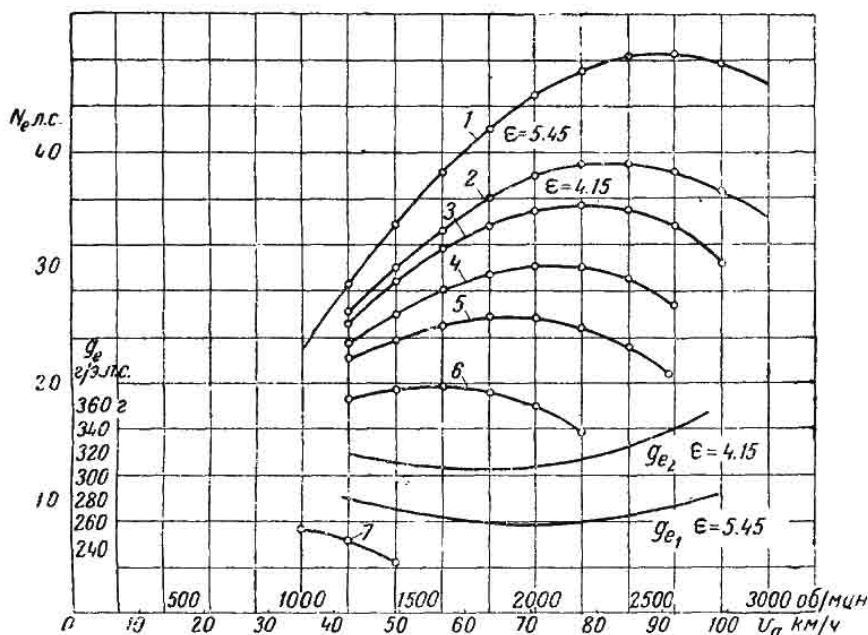
Минимальный расход топлива для двигателя со стандартной головкой $g_e = 302$ г/э. л. с. ч. и для двигателя с алюминиевой головкой 250 г/э. л. с. ч. при удельном весе бензина $\gamma = 0,777$.

Кривые 3, 4, 5, 6 и 7 представляют мощность двигателя, развиваемую на различных дросселях. При этом дросселирование производилось с помощью прокладки с отверстиями различного диаметра; прокладка вставлялась между карбюратором и всасы-

вающей трубой. Дроссельная заслонка оставалась все время полностью открытой.

Такой метод получения дроссельных характеристик двигателя был принят с той целью, чтобы во время дорожных испытаний, при определении кривой потери мощности на сопротивление движению автомобиля, можно было двигатель дросселировать на ту же величину.

Вес автомобиля с обтекаемым кузовом составлял 1270 кг. В условиях испытаний вместе с бригадой экспериментаторов — 5 человек и аппаратурой вес автомобиля составил 1700 кг. Вес фаэтона без нагрузки — 1070 кг, а в условиях испытаний — 1625 кг.



Фиг. 45. Характеристика мотора ГАЗ-А.

Для фаэтона нагрузка, для частичного выравнивания веса при помощи гирь, была увеличена на 125 кг. Размер шин $29 \times 5,5$; давление в шинах 2 атмосферы.

Скорость устанавливалась по электрическому спидометру. Динамо электрического спидометра приводилась в движение при помощи ременной передачи от велосипедного колеса, устанавливаемого сбоку автомобиля. Динамо было точно отрегулировано. Напряжение в 1 вольт соответствовало скорости в 10 км/час.

Напряжение динамо возрастает прямо пропорционально скорости движения, так что показания вольтметра точно соответствовали скорости движения автомобиля.

Испытания проводились на асфальтированном участке шоссе. Состояние верхнего покрытия среднее — имелись небольшие выбоины и выпучины.

Испытания на определение максимальной скорости производились как с нормальной головкой, так и с алюминиевой. Результаты приведены в табл. 20.

Таблица 20

Максимальная скорость в км/час, развиваемая автомобилем ГАЗ-А

Тип кузова	Стандартная головка	Алюминиевая головка
Кузов фазтон	82,5	93,0
Обтекаемый кузов	100	106
Приращение скорости в %	21	15,2

Скорость определялась непосредственно по электрическому спидометру и по времени прохождения 1 км пути.

Нужно заметить, что для обтекаемого автомобиля максимальная скорость соответствовала таким оборотам двигателя, при которых мощность начинает падать, т. е. за перегибом внешней характеристики. Для фазтона максимальная скорость соответствовала максимальной мощности двигателя.

Мощность двигателя, теряемая на преодоление сопротивления движению автомобиля, определялась по максимальной скорости, развиваемой автомобилем на различных дросселях. Дросселирование производилось теми же прокладками, что и при испытании на стенде.

Сопоставляя испытания двигателя и автомашин и введя соответствующие поправки на температуру и давление, были получены данные зависимости мощности от скорости, приведенные в табл. 21 и в графике (фиг. 46).

Таблица 21

	Скорость движения, в км/час						
	40	50	60	70	80	90	100
	Мощность, затрачиваемая двигателем, в л. с.						
Кузов фазтон	7	12,2	18,7	26,6	36	46,2	—
Обтекаемый кузов	5	8	11,9	16,6	22,8	29,6	37
Экономия в мощности в л. с.	2	4,2	5,8	10,0	13,2	16,8	—
Экономия в %	28	34	36	38	36,7	36,4	—

Полученная зависимость потери мощности двигателя позволяет проверить коэффициент сопротивления воздуха, полученный путем продувки модели. Берем скорость автомобиля в 80 км/час. Мощность, затрачиваемая двигателем на данной скорости, равняется 22,8 л. с. По опытным данным к. п. д. трансмиссии для ана-

логичных машин равен 0,85. Следовательно, потеря мощности на качение и сопротивление воздуха будет:

$$N_w + N_f = \eta_m \cdot N_e = 0,85 \cdot 22,8 = 19,4 \text{ л. с.} \quad (25)$$

Коэффициент качения для пневматиков по асфальту $f = 0,021$.

$$N_f = \frac{f \cdot G_a v}{270} = 10,6 \text{ л. с.} \quad (26)$$

$$N_w = 19,4 - 10,6 = 8,8 \quad (27)$$

Следовательно

$$k = \frac{N_w \cdot 3,6^3 \cdot 75}{\rho \cdot F v^3} = 0,207. \quad (28)$$

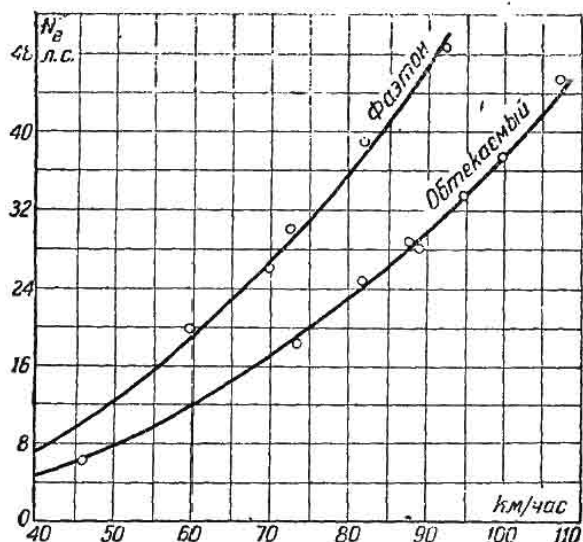
Коэффициент сопротивления воздуха при продувке модели получился равным 0,175, а в нашем подсчете 0,207.

Разность объясняется несоответствием условий продувки условиям работы автомобиля. А именно, в автомобиле колеса имеют вращения, вызывая тем самым дополнительные вихри. Помимо этого, как уже упоминалось в предыдущей главе, продувка моделей, установленных в зеркальном отображении, недостаточно точно воспроизводит влияние дороги.

Кроме того, это в значительной степени объясняется разностью обтекаемости нижней части автомобиля. В то время как у модели низ был сделан совершенно гладким без каких-либо углублений и воздушных мешков, у автомобиля низ очень неровный с выступающими трубами, тягами, рычагами и воздушными мешками, что сильно увеличивает сопротивление воздуха.

По опытам проф. Lay это дополнительное сопротивление составляет 6% от общего сопротивления. Испытывая обычный автомобиль, он затягивал низ автомобиля брезентом. Коэффициент сопротивления при этом понижался на 6%. Для нашего обтекаемого автомобиля это дополнительное сопротивление, равное по абсолютной величине сопротивлению при опытах проф. Lay, возьмем не 6%, а 10—12%, поскольку все сопротивление составляет половину сопротивления автомобиля, испытанного проф. Lay.

По опытам проф. Lay это дополнительное сопротивление составляет 6% от общего сопротивления. Испытывая обычный автомобиль, он затягивал низ автомобиля брезентом. Коэффициент сопротивления при этом понижался на 6%. Для нашего обтекаемого автомобиля это дополнительное сопротивление, равное по абсолютной величине сопротивлению при опытах проф. Lay, возьмем не 6%, а 10—12%, поскольку все сопротивление составляет половину сопротивления автомобиля, испытанного проф. Lay.



Фиг. 46. Мощность двигателя, теряемая на преодоление сопротивления движению автомобиля ГАЗ-А.

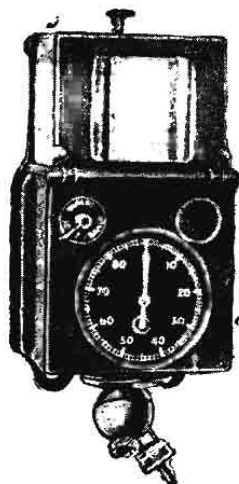
Внеся эту поправку, получим $k = 0,186$. В итоге коэффициенты сопротивления очень мало отличаются по величине.

Аналогичные результаты получены при определении мощности, теряемой на сопротивление движению по затуханию скорости автомобиля.

Затухание, как и разгон автомобиля, измерялось с помощью самопишущего прибора TEL (фиг. 47). Этот прибор состоит из спидометра, часового механизма и двух барабанов с бумажной лентой, вращающихся пропорционально пройденному пути.

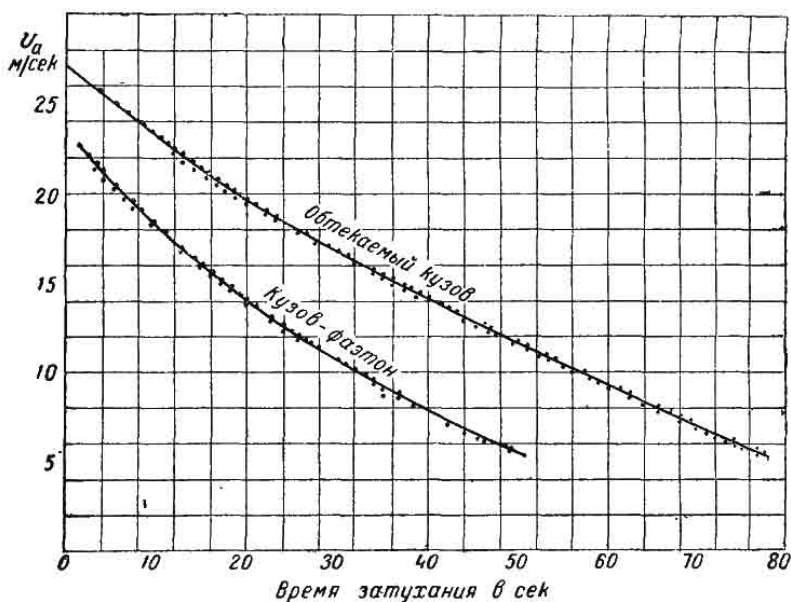
Привод прибора производится гибким валом, так же как и привод нормального спидометра, или от пятого колеса. Указатель скорости связан с часовым механизмом так, что запись на ленте имеет ступенчатый характер.

В течение большой доли секунды указатель скорости задерживается часовым механизмом, и на ленте получается горизонтальная линия. Освобождается указатель примерно на 0,1 доли секунды, в течение которой он передвигается до положения, соответствующего фактической скорости. В результате этого запись по двигающейся



Фиг. 47. Прибор TEL.

В течение большой доли секунды указатель скорости задерживается часовым механизмом, и на ленте получается горизонтальная линия. Освобождается указатель примерно на 0,1 доли секунды, в течение которой он передвигается до положения, соответствующего фактической скорости. В результате этого запись по двигающейся



Фиг. 48. Затухание скорости автомобиля ГАЗ-А.

ленте дает одновременную зависимость трех параметров, а именно: пути, скорости и времени.

Сочетание двух последних величин скорости и времени позволяет подсчитать еще одну величину, а именно ускорение. При затухании скорости у автомобиля, ускорение будет отрицательное.

На фиг. 48 представлен полученный при обработке ступенчатой записи самопишущего прибора график затухания скорости автомобиля по времени.

Обтекаемый автомобиль имел начальную скорость 26,1 м/сек. При обработке приведенного графика, ускорение подсчитывалось по изменению скорости за 4 сек., т. е. подсчитывалось среднее значение ускорения за время 4 секунды. Скорость, соответствующая данному ускорению, принималась равной среднему значению за данный промежуток времени.

Зная величину отрицательного ускорения при затухании скорости автомобиля, можно подсчитать силу инерции автомобиля. Эта сила инерции равна сумме сил сопротивления движению, т. е. при движении по горизонтальному участку пути равна сумме сил сопротивления воздуха и сопротивления качению. Выражая это равенство через мощность, будем иметь:

$$N_w + N_f = N_j; \quad N_j = j \frac{m \cdot V}{270}, \quad (29)$$

где: j — отрицательное ускорение в м/сек²;

m — масса автомобиля с учетом моментов инерции вращающихся масс в кг·сек²/м.

При подсчете массы автомобиля, момент инерции вращающихся масс (колес, полуосей, сателлитов, карданного вала) учтен поправочным коэффициентом, равным 3% от массы автомобиля, т. е.

$$m = \frac{G(1 + \delta)}{g}. \quad (30)$$

На фиг. 49 приведен график потери мощности, идущей на преодоление сопротивления воздуха и сопротивление качению и подсчитанной по затуханию скорости автомобиля.

Эти данные очень близко подходят к результатам, полученным при определении мощности, теряемой на преодоление сопротивления движению по максимальной скорости на различных дросселях. Так например, на скорости 80 км/час по данному графику для обтекаемого автомобиля $N_w + N_f = 20$ л. с., а в предыдущем подсчете $N_w + N_f = 19,4$ л. с., т. е. расхождение очень незначительное и составляет всего только 3%.

Для проверки точности показаний самопишущего прибора TEL помимо затухания проводились опыты и на разгон автомобиля.

При разгоне автомобиля прибор TEL, так же как и при затухании, фиксирует одновременно три параметра: путь, скорость и время.

Скорость разгона по времени точно так же можно обработать и получить мощность, затрачиваемую на ускорение автомобиля.

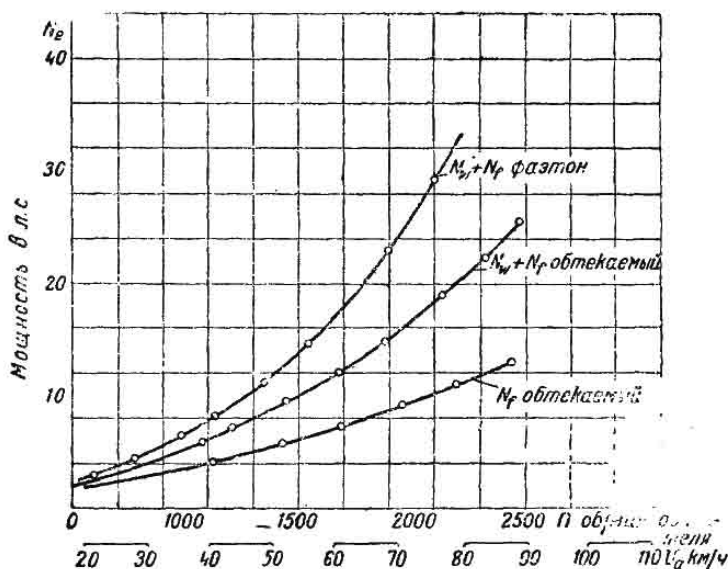
На фиг. 50 представлен график скорости разгона по времени для автомобиля ГАЗ-А.

При обработке этого графика поступаем так же, как и при обработке графика скорости затухания по времени.

Вначале определяем ускорение автомобиля, а затем мощность, идущую на ускорение, по формуле

$$N_j = j \cdot \frac{m \cdot V}{270} = j \cdot \frac{G}{g} \frac{(1 + \delta)V}{270}, \quad (31)$$

где: δ — коэффициент, учитывающий вращающиеся массы.
Примерно $\delta \approx 5\%$ от массы всего автомобиля.



Фиг. 49. Потеря мощности на преодоление сопротивления движения автомобиля ГАЗ-А.

На фиг. 51 кривая N_j — мощность, затрачиваемая на ускорение автомобиля.

N_j будет одновременно и запасом мощности автомобиля при равномерном движении последнего по горизонтальной дороге. Как видим из графика, обтекаемый автомобиль обладает значительно большим запасом мощности.

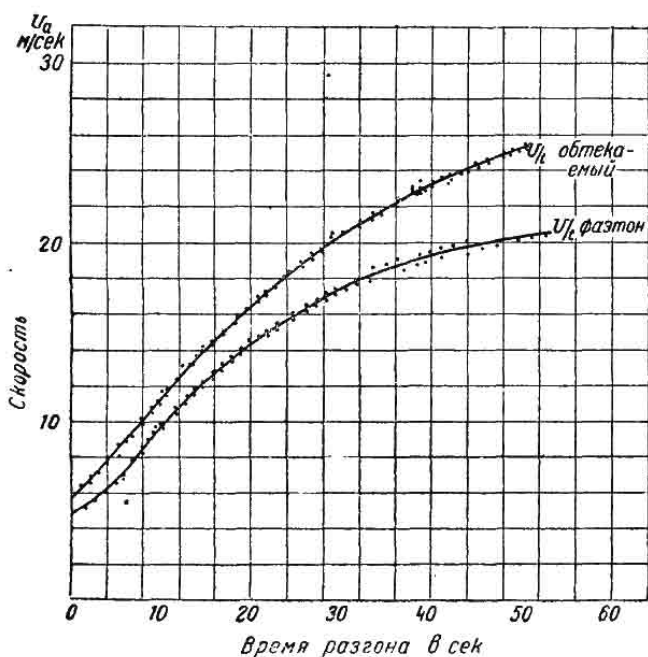
Складывая $N_j + N_w + N_p$, мы получаем мощность на полуосях.

На фиг. 51 кривая N_n представляет мощность на полуосях автомобиля ГАЗ-А с обтекаемым кузовом.

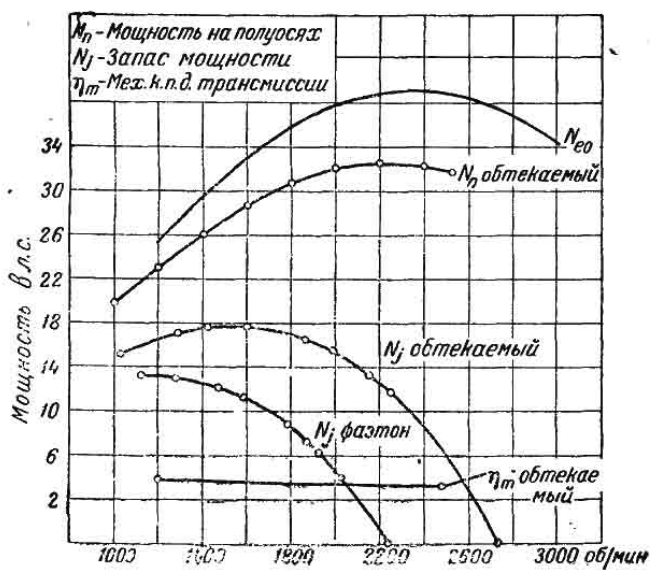
Кривая N_{eo} будет внешней характеристикой двигателя, полученной при испытании на стенде.

Отсюда можно подсчитать механический к. п. д. трансмиссии

$$\eta_m = \frac{N_n}{N_{eo}}$$



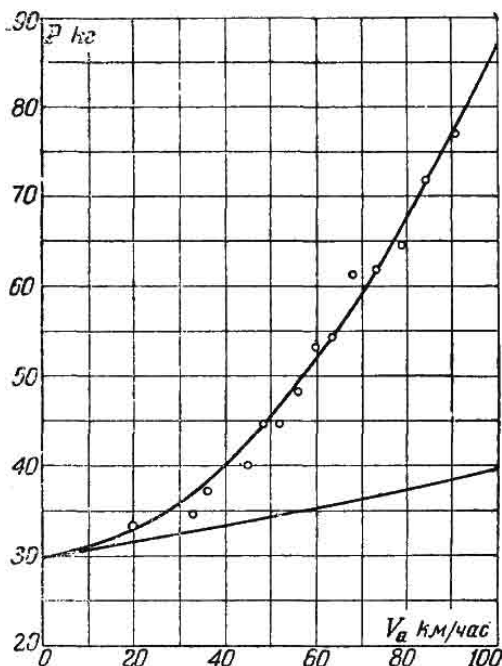
Фиг. 50. Скорость разгона по времени.



Фиг. 51. Расчетный баланс автомобиля ГАЗ-А.

Числовые значения согласуются очень хорошо с данными, полученными различными экспериментаторами для аналогичных машин при специальных исследованиях трансмиссии на механический к. п. д. При 1200 об/мин механический к. п. д. трансмиссии равен 0,9; при 2400 об/мин $\eta_m = 0,85$. Этот факт является подтверждением точности всех опытов, проведенных над автомобилем ГАЗ-А с обтекаемым кузовом.

При подсчете коэффициента сопротивления воздуха для обтекаемого автомобиля на основании данных испытаний на максимальную скорость мы задавались двумя величинами: к. п. д.



Фиг. 52. Сопротивление движению автомобиля ГАЗ-А.

бование как-то уточнить значение коэффициента качения f .

Для этой цели необходимо было бы провести специальные исследования на определение коэффициента качения шин в лабораторных и дорожных условиях. Однако этот коэффициент можно уточнить, используя полученную функциональную зависимость мощности, расходуемой на преодоление сопротивления движению от скорости.

Чтобы не вводить в подсчет лишних величин, в данном случае к. п. д. трансмиссии, берем мощность, полученную при обработке кривых затухания. В этом случае мы получаем кривую мощности, идущей на преодоление силы сопротивления воздуха и силы сопротивления качению.

трансмиссии η_m и коэффициентом качения f .

Такой метод подсчета не гарантирует от возможных ошибок. Если взятое нами значение к.п.д. трансмиссии близко совпало с таковым, полученным при проверке (фиг. 51), то значение коэффициента качения f остается приблизительно.

Для данного типа шин мы можем взять значение коэффициента качения f в пределах от 0,018 до 0,025.

При этих крайних значениях коэффициента качения коэффициент сопротивления воздуха, подсчитанный упомянутым способом, получается равным соответственно 0,29 и 0,137.

Отсюда вполне естественно возникает тре-

Для кривой мощности, теряемой на преодоление сопротивления качению и сопротивление воздуха, можно подобрать уравнение.

Поскольку мощность, теряемая на преодоление сопротивления воздуха, пропорциональна кубу скорости, это уравнение должно содержать член вида Av^3 . Мощность же, теряемая на преодоление сопротивления качению, не пропорциональна скорости, как это принято обычно считать.

По данным американского Bureau of Public Roads, коэффициент качения f с увеличением скорости возрастает примерно пропорционально скорости. Отсюда член уравнения, соответствующий потере на сопротивление качению, будет иметь вид не Bv , а $Bv^2 + Cv$.

Подобрать для суммарной кривой уравнение вида

$$N = Av^3 + Bv^2 + Cv \quad (32)$$

является довольно затруднительным из-за громоздкости подсчетов и поэтому воспользуемся более простыми функциональными зависимостями.

Если мы возьмем не мощность, а тягу, то степень уравнения понизится на единицу и уравнение примет вид:

$$P = A_1v^2 + B_1v + C_1. \quad (33)$$

На фиг. 52 приведена данная зависимость.

C_1 в данном случае равно 30 кг. Отсюда значение коэффициента качения, при скорости движения автомобиля близкой к нулю, будет:

$$f_0 = \frac{P}{G_a} = \frac{30}{1700} = 0,0176. \quad (34)$$

Значения коэффициентов A_1 и B_1 для данного уравнения получаются равными соответственно 0,00474 и 0,089, т. е. уравнение имеет вид:

$$P = 0,00474v^2 + 0,089v + 30, \quad (35)$$

где: P — суммарное сопротивление движению в кг;
 v — скорость движения в км/час.

Коэффициент $A = 0,00474$ состоит из следующих величин:

$$A = \frac{k \cdot \rho \cdot F}{3,6^3}, \quad (36)$$

где: k — коэффициент сопротивления воздуха;

ρ — плотность воздуха $0,125 \frac{\text{кг/сек}^2}{\text{м}^3}$;

F — лобовая площадь автомобиля, равная $2,3 \text{ м}^2$.

Отсюда коэффициент сопротивления воздуха:

$$k = \frac{0,00474 \cdot 13}{0,125 \cdot 2,3} = 0,214. \quad (37)$$

Два последних члена нашего уравнения соответствуют сопротивлению качения. На фиг. 52 нижняя прямая линия предста-

вляет сопротивление качению, подсчитанное на основании двух последних членов уравнения, а именно $P_f = 0,089v + 30$.

Пользуясь полученной зависимостью сопротивления качению, мы можем подсчитать значение коэффициента сопротивления качению f на различных скоростях.

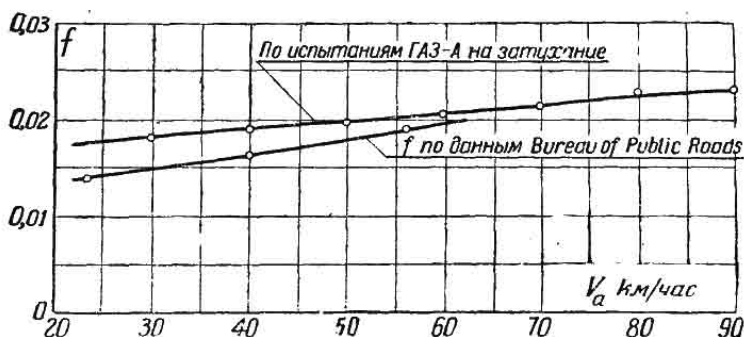
При этом мы будем принимать, что на данной скорости сила сопротивления качению

$$P_f = f \cdot G_a, \quad (38)$$

где: G_a — вес автомобиля.

На фиг. 53 представлен график значения коэффициента сопротивления качению на различных скоростях. Верхняя линия дает зависимость коэффициента полученную при испытании ГАЗ-А, нижняя соответствует данным американского Bureau of Public Roads.

Как в первом, так и во втором случае испытания проводились на асфальтовой дороге среднего качества.



Фиг. 53. Коэффициент сопротивления качению.

Как видим, расхождение в результатах незначительное, что дает возможность предполагать, что данные, полученные при испытании ГАЗ-А, соответствуют действительности, и что метод испытания и метод обработки данных являются правильными.

При движении автомобиля, в условиях испытания по асфальтовой дороге среднего качества, шины испытывали дополнительную нагрузку при ударах о неровности дороги. Увеличение силы сопротивления качению объясняется не изменением коэффициента сопротивления качению, а увеличением нагрузки машины, т. е. в формуле, определяющей силу сопротивления качению,

$$P_f = f \cdot G_a$$

f — величина постоянная, а G_a — реакция дороги на колесо — величина, возрастающая с увеличением скорости.

Изменение силы сопротивления качению с увеличением скорости условно относят за счет изменения коэффициента сопротивления качению, что позволяет применять экспериментальные данные, полученные при испытании какой-либо машины к другим машинам.

Кроме изложенных наиболее распространенных методов определения силы сопротивления воздуха при испытании автомобилей в дорожных условиях, существуют еще другие методы, а именно: определение сопротивления путем буксирования испытуемого автомобиля и определения сопротивления при спуске автомобиля с уклона.

Определение сопротивления путем буксирования испытуемого автомобиля требует наличия двух машин и динамометра. При этом необходимо, чтобы на дороге не было неровностей, иначе показания динамометра будут сильно колебаться. Далее нужен достаточно длинный канат (или трос), чтобы на силе сопротивления воздуха не сказывались вихри от передней машины. Наконец, машины надо держать строго на одной линии, чтобы усилие, отмечаемое динамометром, прямо соответствовало силе сопротивления воздуха и сопротивлению качению буксируемой машины. Показания динамометра на разных скоростях движения дают возможность построить кривую сопротивления движению.

Ввиду больших колебаний показаний динамометра и остающихся вихрей от буксирующей машины даже при канате достаточно большой длины, метод этот применяется редко.

Определение сопротивления при спуске автомобиля с уклона производилось проф. Lockwood и дало довольно хорошие результаты.

Для такого испытания подбиралась дорога с постоянным уклоном на достаточно большом участке, коэффициент сопротивления качению которого был известен.

Предположим, имеются три таких участка с уклоном в 2, 3 и 5%. Зная вес машины G_a (для нашего случая возьмем $G_a = 1215$ кг), можно подсчитать силу, действующую на автомобиль при движении под уклон, по формуле:

$$P = G_a \sin \alpha; \quad (39)$$

но в пределах небольших углов, соответствующих уклону в 3—5%, можно принять

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha,$$

т. е.

$$P = G_a \operatorname{tg} \alpha, \quad (40)$$

или же

$$P = \frac{G_a \cdot h}{100}, \quad (41)$$

где h — уклон в процентах.

При уклоне в 2% эта сила будет равняться 24,3 кг, при 3% — 36,45 кг и при 5% — 60,75 кг.

При движении автомобиля по каждому из этих участков с выключенным двигателем через известный промежуток времени устанавливается постоянная скорость. В этот момент сопротивление движению будет равняться силе, сообщаемой автомобилю за счет уклона. Нанося эти точки и соединяя их плавной кривой, получаем сопротивление движению в зависимости от скорости.

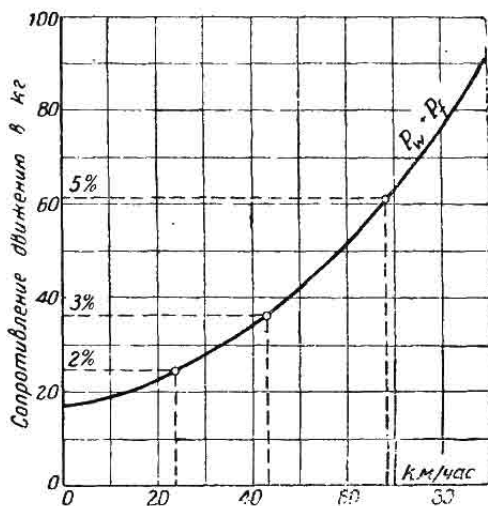
Предположим, что для рассматриваемого нами случая (фиг. 54) при уклоне в 2% получилась скорость $v = 25$ км/час; при 3% — 42,5 км/час и при 5% — 68 км/час.

Соединяя эти точки, мы получаем кривую сопротивления.

Этот метод испытания точно так же применяется редко. Во всяком случае по литературным источникам нам известно, что этот метод применялся только проф. Lockwood.

Основное затруднение для использования этого метода заключается в том, что очень редко можно найти участки дороги достаточной длины с постоянным углом наклона.

Обработку данных испытания для получения коэффициента сопротивления воздуха и коэффициента сопротивления качению следует проводить тем же методом, который был применен автором при проработке результатов испытания автомобиля ГАЗ-А.



Фиг. 54. Определение сопротивления движению при спуске автомобиля под уклон.

очень большие отклонения от действительности. Поэтому возникает вопрос, нельзя ли как-нибудь замерить только силу сопротивления воздуха. Здесь мы можем остановиться на опытах, проведенных проф. Lau в Мичиганском университете США.

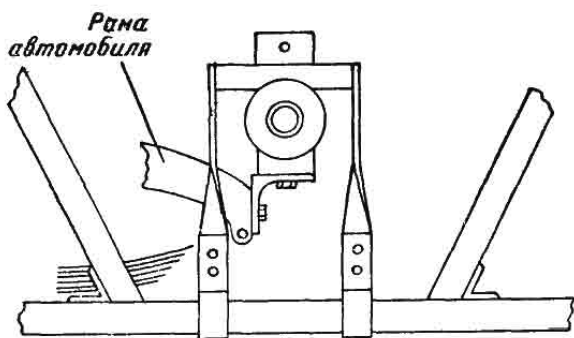
В своих исследованиях проф. Lau применил метод плавающего кузова. Эти исследования проводились в основном для проверки закона приближенного динамического подобия, т. е. выяснялось, будут ли коэффициенты сопротивления, полученные при испытании моделей в аэродинамических трубах, равны коэффициентам сопротивления, полученным при испытании автомобиля в натуре.

На стандартном шасси автомобиля был смонтирован кузов в форме параллелепипеда с закругленными углами.

Для того чтобы при испытаниях возможно меньше сказывались силы инерции, кузов был сделан очень легким.

Каркас кузова деревянный, обшивка из фанеры, каркас связан при помощи стальных проволок и аэропланных натяжных винтов, углы кузова сменные, т. е. можно по желанию поставить углы с радиусом закругления 152 мм (6 дм.) и 228 мм (9 дм.).

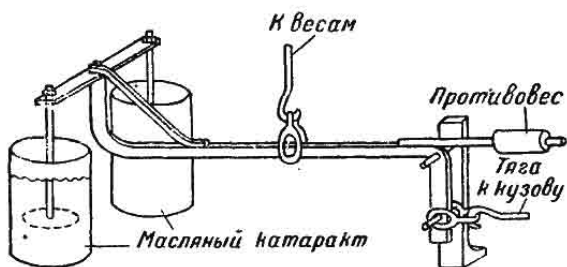
Весь кузов крепился таким образом, что допускалось небольшое продольное перемещение его относительно рамы.



Фиг. 55. Крепление плавающего кузова.

На фиг. 55 показано крепление кузова. К переднему концу лонжеронов привернуты поперечины из уголкового железа. На угольнике установлен ролик, вращающийся на шариковых подшипниках. По канавке в ролике скользит стальная труба, к которой подвешен каркас кузова.

Такое же крепление сделано и в задней части автомобиля. Сопротивление воздуха замерялось пружинным динамометром.



Фиг. 56. Динамометр плавающего кузова.

Передача усилия от кузова к динамометру производилась через рычажную систему (фиг. 56). Для того чтобы уменьшить колебания в показаниях динамометра, возникающие за счет сил инерции кузова, в рычажную систему был включен масляный катаракт.

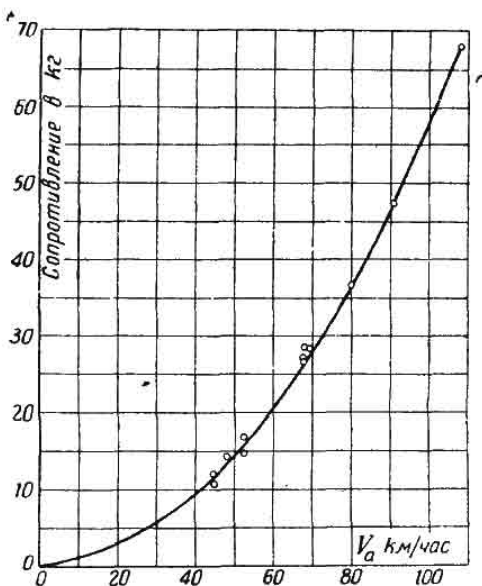
Испытания проводились на горизонтальном 6-километровом участке бетонной дороги. В середине этого участка был отмерен отрезок длиной в 1 милю. Граница этого отрезка была отмечена красными линиями. На обоих концах были установлены неболь-

шие метеорологические станции для замеров скорости и направления ветра, а также влажности и температуры воздуха.

Для того чтобы получить одинаковую скорость во всех заездах, дросселирование двигателя производилось рычагом, установленным на рулевом колесе. Рычаг ставился во всех заездах в одно и то же положение.

В момент прохождения первой красной отметки пускался секундомер и начиналась запись показаний динамометра. Запись показаний динамометра производилась через очень короткие промежутки времени в течение прохождения всего отрезка пути в 1 милю.

При прохождении второй красной черты в конце отрезка секундомер останавливался и подсчитывалась средняя скорость движения. Затем заезд производился в обратном направлении.



Фиг. 57. Сопротивление воздуха движению плавающего кузова.

Результаты замеров приведены на фиг. 57. Как видим, точки различных замеров ложатся очень близко к средней кривой сопротивления. Эта кривая является точно параболой второй степени.

В табл. 22 приведены значения коэффициентов сопротивления, подсчитанные на основании этой кривой.

Для проверки полученных результатов на полигоне General Motors были проведены испытания с тем же автомобилем по методу затухания. Среднее значение коэффициента сопротивления при этом получилось равным 0,202, что очень хорошо согласуется с результатами, приведенными в табл. 22.

Сопrotивление воздуха при испытании в дорожных условиях автомобиля с кузовом в виде параллелепипеда (радиус закругления углов 9 дм.)

Скорость миль/час	Сопrotивление воздуха в фунтах	Коэффициент со- пrotивления k
30	30	0,203
40	53,4	0,203
50	81,5	0,200
60	120,0	0,203
70	163,0	0,203

При определении сопротивления воздуха методом плававшего кузова не учтено было сопротивление колес.

Чтобы получить аналогичные условия при продувке моделей, был применен следующий способ монтажа моделей. Колеса модели, у которой замерялось сопротивление, ставились на место, но крепились к модели, устанавливаемой в зеркальном отображении. Благодаря такому методу монтажа моделей, замерялось сопротивление только параллелепипеда. При этом коэффициент сопротивления воздуха получился равным 0,221. Одновременно была проведена продувка (с обычной монтировкой колес). В этом случае коэффициент сопротивления получился несколько большим, а именно 0,231.

Сравнивая данные, полученные при продувке моделей и при испытании автомобиля в натуру, мы видим, что сопротивление воздуха при испытании автомобиля в натуру будет меньше и составляет 92% от сопротивления модели.

Этот метод испытания является первой попыткой непосредственного замера сопротивления воздуха при движении автомобиля в дорожных условиях. Однако нужно сказать, что проведение подобных опытов по определению сопротивления воздуха автомобиля с обычной конструкцией кузова едва ли можно будет осуществить.

К исследованию сопротивления воздуха движению автомобиля в дорожных условиях можно отнести также опыты, проведенные в университете штата Айова США.

В данном случае автомобиль устанавливался на железнодорожную платформу, которая толкалась сзади идущим паровозом. Автомобиль крепился к платформе таким образом, что имел возможность перемещаться вдоль платформы на специальных катках по направляющим. Это движение было ограничено специальным упором, связанным через систему рычагов с самопишущим динамометром.

При движении платформы автомобиль под действием аэродинамических сил стремился откатиться назад и нажимал на упор. Через систему рычагов это усилие передавалось на самопишущий динамометр и фиксировалось последним.

Этот метод испытаний имеет целый ряд недостатков. Во-первых, он очень дорог, так как для проведения испытаний требуется железнодорожная платформа, специальные приспособления для подвижного крепления автомобиля, а также паровоз. Во-вторых, он недостаточно точен. Платформа при движении создает вихревое движение воздуха, что конечно сказывается на сопротивлении воздуха автомобиля. Неточность метода заключается еще и в том, что платформа остается неподвижной относительно автомобиля, т. е. здесь происходит то же явление, что и при продувке модели в аэродинамической трубе, установленной на неподвижной плите.

Вследствие перечисленных недостатков этот метод не получил распространения.

Наиболее распространенным и наиболее простым методом определения сопротивления воздуха является метод определения сопротивления по затуханию. Этот метод не требует никаких предварительных лабораторных испытаний, и вся аппаратура состоит из самопишущего прибора TEL или же аналогичного по принципу действия прибора Original Bruhn.

Единственный и очень существенный недостаток этого метода заключается в том, что при помощи этого метода можно получить только суммарное сопротивление движению, т. е. при проведении испытания на горизонтальной дороге — сопротивление воздуха и сопротивление качению.

При проведении большого количества опытов с различными машинами в одних и тех же дорожных условиях можно в достаточной степени уточнить величину коэффициента сопротивления качению и тем самым значительно облегчить и обработку результатов испытаний.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОБТЕКАЕМОСТИ НА ДИНАМИКУ И ЭКОНОМИКУ АВТОМОБИЛЯ

При описании различных экспериментальных работ по определению сопротивления воздуха движению автомобиля были приведены опытные данные для различных конструкций автомобиля. Подводя итог, мы ниже приводим в табл. 23 коэффициенты сопротивления воздуха для наиболее характерных типов кузовов современного автомобиля.

Таблица 23

№ п.п.	Тип кузова	Величина k
1	Фэтон	0,45
2	Лимузин	0,35
3	Полуобтекаемый	0,25
4	Обтекаемый	0,15
5	Обтекаемый (двигатель в задней части автомобиля)	0,08

Опыты автора на заводе ГАЗ были проведены только на одном автомобиле с двумя типами кузовов; обтекаемый кузов показал коэффициент сопротивления $k=0,2$ и кузов фэтон дал коэффициент сопротивления $k=0,48$.

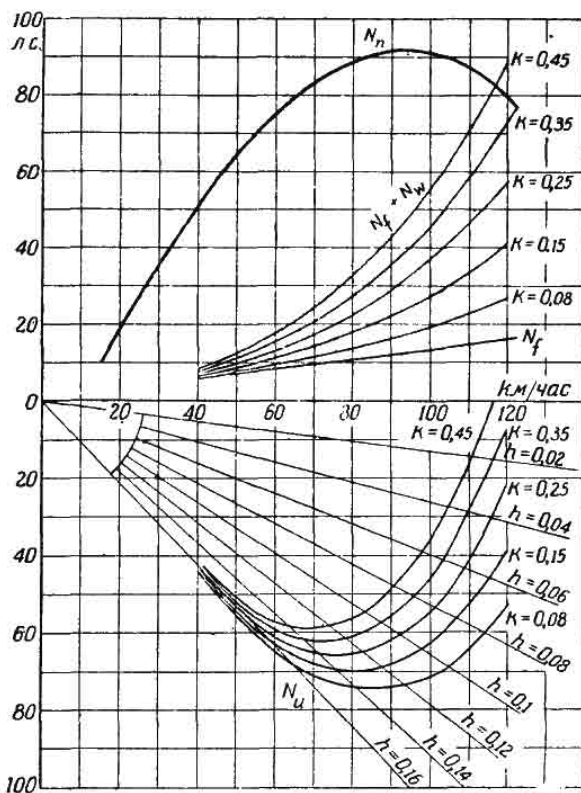
Перейдем к рассмотрению влияния обтекаемости приведенных выше пяти различных кузовов на рабочий баланс автомобилей двух классов.

В качестве первого класса возьмем большой легковой автомобиль Бюик с двигателем 90 л. с., в качестве второго—малый легковой автомобиль с двигателем в 50 л. с.

На фиг. 58 представлен рабочий баланс автомобиля Бюик. Основные данные по этому автомобилю следующие:

Вес автомобиля	1800 кг
Коэффициент сопротивления качению	0,02
Лобовая поверхность	2,62
Лобовая поверхность для конструкции G. Reid	2м ²

При скорости 100 км/час мы имеем величины расходуемой мощности, приведенные в табл. 24.



Фиг. 58. Рабочий баланс автомобиля Бюик.

Таблица 24

Расход мощности в автомобиле Бюик с различными кузовами на скорости 100 км/час

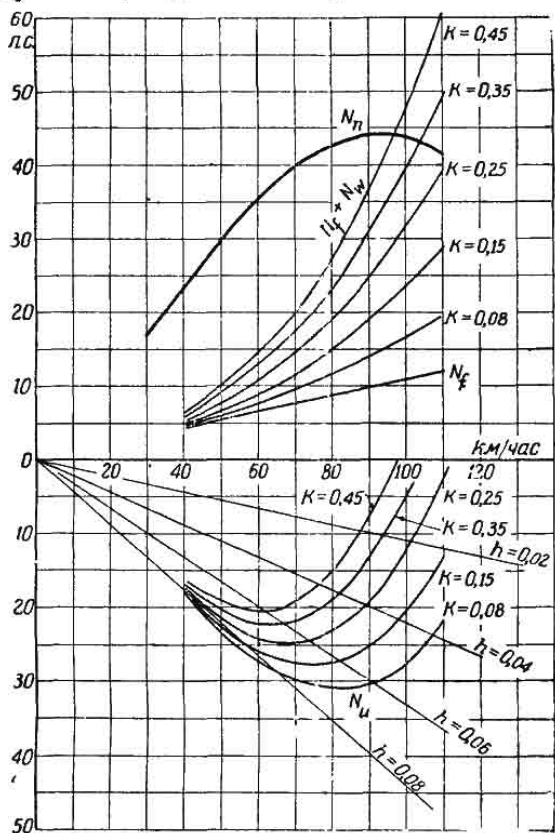
№ п.п.	Тип кузова	Расход мощности в л. с.	Расход мощности в %
1	Фэтон	55	100
2	Лимузин	45	82
3	Полуобтекаемый	36	65
4	Обтекаемый	27	49
5	То же	19	34,5
6	Потери на преодол. сопротивл. качению	13	23,5

Для автомобиля с кузовом фэтон мощность, теряемая на преодоление сопротивления воздуха, составляет более 75% всей

расходуемой мощности; в то же время для автомобиля с кузовом идеальной формы потеря на преодоление этого сопротивления настолько незначительна, что начинает превалировать потеря на преодоление сопротивления качению.

Общая потеря мощности равна 19 л.с., из которых только 6 л.с. идет на преодоление сопротивления воздуха, а 13 л.с. на преодоление сопротивления качению.

Потеря на преодоление сопротивления качению в два раза больше потери на преодоление сопротивления воздуха.



Фиг. 59. Рабочий баланс автомобиля ГАЗ-А.

На малых скоростях потеря на сопротивление воздуха для автомобиля с кузовом типа G. Reid становится совсем незначительной.

Сопротивление воздуха до скорости 60 км/час можно считать равным нулю.

На фиг. 59 приведен рабочий баланс для автомобиля типа ГАЗ-А. Основные данные для этого автомобиля следующие:

Вес автомобиля	1500 кг
Лобовая поверхность	2,3 м ²
То же для обтекаемой конструкции G. Reid	2 м ²
Коэффициент сопротивления качению	0,02

При скорости 80—100 км/час имеем величины расходуемой мощности, приведенные в табл. 25.

Таблица 25

Расход мощности в автомобиле ГАЗ с различными кузовами

№ п.п.	Конструкция кузова	Скорость 80 км/час		Скорость 100 км/час	
		в л. с.	в %	в л. с.	в %
1	Фэтон	27,5	100	47,5	100
2	Лимузин	23	83,5	40	84
3	Полуобтекаемый	19	69	31,5	66,1
4	Обтекаемый	15	54,5	23,0	48,4
5	То же	11,5	41,7	16,5	34,7
6	Потеря на качения	8,5	30,8	10,5	22,1

Полученные данные мало отличаются по абсолютной величине от аналогичных данных для автомобиля Бюик.

Но для малого автомобиля обтекаемость играет относительно большую роль. Дело в том, что мощность двигателя в малом легковом автомобиле уменьшилась почти в 2 раза, в то время как лобовая поверхность уменьшилась только на 11%, а вес автомобиля—на 11½%. Отсюда все динамические характеристики (запас мощности, динамический фактор, ускорение, путь и время разгона) для малого автомобиля увеличатся за счет обтекаемости кузова в большей мере, чем в автомобиле Бюик. Так например, для автомобиля Бюик максимальный запас мощности за счет обтекаемости увеличился с 60 л. с. до 75 л. с., т. е. на 26%, в автомобиле ГАЗ с 21 л. с. до 31 л. с., т. е. на 47%.

Увеличение запаса мощности за счет обтекаемости до 50% значительно повышает динамические качества автомобиля.

В основном три параметра характеризуют динамику автомобиля, а именно: первый—приемистость автомобиля, выражаемая обычно в метрах пути разгона до определенной скорости; второй—максимальный угол подъема на прямой передаче и третий—максимальная скорость на прямой передаче на горизонтальном участке пути.

Увеличение запаса мощности значительно уменьшает путь разгона автомобиля. Теоретического подсчета для всех случаев мы здесь производить не будем, а приведем экспериментальные данные по разгону автомобиля ГАЗ-А. Путь разгона автомобиля ГАЗ-А фэтон ($k=0,48$) со скорости в 40 км/час до 70 км/час получился равным 600 м, а для ГАЗ-А обтекаемый ($k=0,2$) путь разгона в тех же условиях 390 м. Для автомобилей с коэффициентом сопротивления $k=0,15$ и 0,08 путь разгона должен быть еще меньше.

На небольших скоростях в 30—40 км/час приемистость обтекаемых автомобилей будет незначительно отличаться от приемистости необтекаемых автомобилей.

Повышается и максимальный угол подъема, который может быть взят на прямой передаче. Правда, максимальные подъемы автомобиль берет на малых скоростях, так что влияние обтекаемости на этом параметре будет сказываться очень мало. Зато на больших скоростях, где влияние обтекаемости сказывается в большей мере, улучшается динамика и на подъемах. Так можно получить более высокие скорости при малых углах подъема. В нижней части графиков фиг. 58 и 59 можно определить это значение максимальной скорости на различных подъемах. Точки пересечения кривых избыточной мощности N_u с потерей мощностей на подъем h и дают значения соответствующей скорости.

Максимальная скорость автомобиля на горизонтальной дороге также значительно возрастает. Графики рабочего баланса автомобилей типа Бюик и ГАЗ-А (фиг. 58 и 59) не дают зависимости увеличения максимальной скорости за счет обтекаемости.

Кривые потерь мощности на преодоление сопротивления воздуха и сопротивления качению за исключением автомобилей с кузовом фэтон ($k = 0,45$) и лимузин ($k = 0,35$) не пересекает кривую мощности автомобиля N_n . Мощность N_n для автомобиля типа Бюик построена до скорости в 120 км/час, а для ГАЗ-А до 110 км/час. Можно было бы продолжить как кривые мощности N_n , так и кривые потерь до их пересечения и найти соответствующие значения максимальных скоростей. Но это не дало бы правильной оценки влияния обтекаемости на увеличение максимальной скорости, так как мощность двигателя на больших скоростях резко падает.

Чтобы использовать максимальную мощность двигателя для получения соответствующей максимальной скорости и не ухудшить динамические качества автомобиля на малых скоростях, необходимо применять дополнительную передачу с передаточным числом меньшим единицы. В современных быстроходных автомобилях обычно ставится такая передача. Так в автомобилях Крейслер и Майбах имеются мультипликаторы.

В табл. 25а приведены значения максимальных скоростей для автомобилей типа Бюик и ГАЗ-А с обтекаемыми кузовами ($k = 0,25; 0,15; 0,08$), а также значения передаточного числа мультипликатора.

Увеличение максимальной скорости за счет обтекаемости в процентах подсчитано по отношению к максимальной скорости автомобиля с кузовом лимузин. Коэффициент сопротивления k этого автомобиля принят нами равным 0,35. Такое значение коэффициента сопротивления имеют только современные легковые автомобили и то не все, а только те, в которых уже есть элементы обтекаемости.

Как видим из таблицы, получается очень большое увеличение максимальной скорости автомобиля за счет обтекаемости.

В не меньшей степени сказывается обтекаемость на экономике автомобиля.

Произвести подсчет расхода топлива для всех типов авто-

мобилей не представляется возможным и мы ограничимся здесь данными, полученными при испытании автомобиля ГАЗ-А.

Испытания проводились в экспериментальном цехе Горьковского автомобильного завода.

Таблица 25а

Максимальные скорости обтекаемых автомобилей с применением мультипликатора

№ п.п.	Тип кузова	k	v_{\max} в км/час	Увеличение v_{\max} в % по отношению к v_{\max} ли- мзина	i мульти- пликатора
Автомобиль типа Бюик					
1	Полуобтекаемый . .	0,25	145	19	0,84
2	Обтекаемый	0,15	170	39	0,72
3	Обтекаемый типа G. Reid	0,08	217	78	0,56
Автомобиль типа ГАЗ-А					
1	Полуобтекаемый . .	0,25	114	9,8	0,91
2	Обтекаемый	0,15	132	26,8	0,79
3	Обтекаемый типа G. Reid	0,08	163	56,5	0,64

Для замера расхода топлива применялся прибор Зенит, состоящий из электрической помпы, работающей от аккумулятора, мерной колбы объемом в $\frac{1}{4}$ л и трехходового крана.

Скорость установилась по электрическому спидометру. Динамо электрического спидометра приводилось в движение при помощи ременной передачи от велосипедного колеса, устанавливаемого сбоку автомобиля. Динамо было точно отрегулировано, так что напряжение в 1 вольт соответствовало скорости в 10 км/час. Напряжение динамо возрастает прямо пропорционально скорости движения, так что показания вольтметра точно соответствовали скорости движения автомобиля.

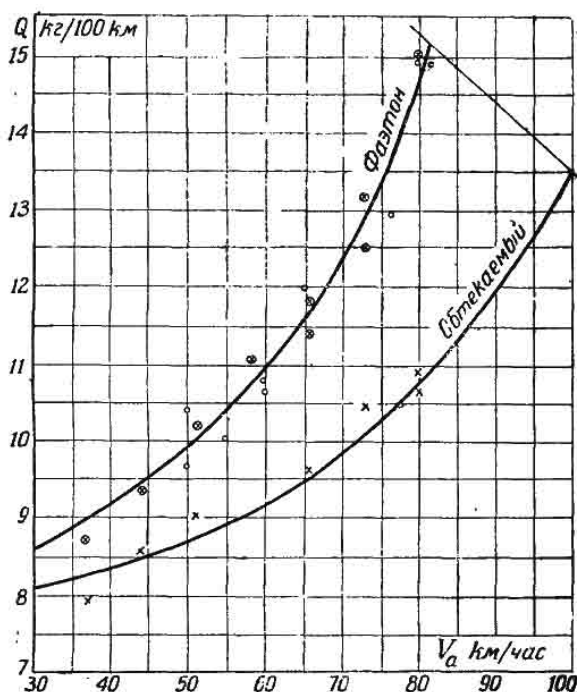
Путь, проходимый автомобилем за время расхода топлива из мерной колбы, фиксировался по счетчику спидометра. За счет увеличенного размера покрышек счетчик имел небольшое отклонение от фактически пройденного пути, что учитывалось соответствующим поправочным коэффициентом.

Испытания проводились на асфальтированном участке шоссе. Состояние верхнего покрытия — среднее, имелись небольшие выбоины и выпучины.

Результаты испытания на расход топлива представлены на фиг. 60. Верхняя кривая представляет расход топлива на 100 км

пути, полученного при испытании фэтона; нижняя — при испытании обтекаемого автомобиля.

Как видно из графика (фиг. 60), обтекаемый автомобиль имеет значительную экономию в расходе топлива.



Фиг. 60. Расход топлива автомобиля ГАЗ-А на 100 км.

Таблица 26

Расход топлива на 100 км пути для автомобиля ГАЗ-А фэтон и ГАЗ-А обтекаемый

V_a км/час.	кг/100 км фэтон	кг/100 км обтекаемый	Экономия топлива в %
30	8,6	8,1	5,8
40	9,15	8,32	8,2
50	9,9	8,65	12,1
60	10,9	9,2	15,5
70	12,3	9,8	20,3
80	14,5	10,55	26,2

В табл. 26 приведены числовые значения экономии в расходе топлива.

По мере увеличения скорости экономия в расходе топлива возрастает и достигает 26% при скорости в 80 км/час.

При нормальном весе автомобиля для обтекаемого автомобиля—1500 кг и для фаэтона 1370 кг экономия в расходе топлива должна возрасти, так как удельный вес мощности, теряемой на преодоление сопротивления воздуха, при этом возрастает и преимущество обтекаемости скажется в большой степени.

В условиях городского движения по г. Горькому при средней скорости в 30 км/час, экономия в расходе топлива получилась естественно меньше, чем при загородной езде. На пяти литрах бензина автомобиль с обтекаемым кузовом прошел путь 46,7 км, а фаэтон—44,3 км, что дает экономию 3⁰/₆.

Испытания проводились одновременно на двух машинах. При этом на машине с обтекаемым кузовом стоял двигатель, с которым проводились все дорожные испытания, а на машине с кузовом фаэтон был поставлен другой двигатель, развивающий такую же мощность. Карбюратор был также подобран. Нагрузка на фаэтон была уменьшена на 125 кг, т. е. фаэтон весил на 200 кг меньше, чем обтекаемый, что, конечно, сказалось на расходе топлива.

Кроме того, в условиях движения по г. Горькому было на пути пробега машин несколько больших подъемов и вынужденных остановок. Это тоже повлияло на уменьшение процесса экономии.

Как было установлено, коэффициент сопротивления для опытного образца обтекаемого автомобиля на шасси ГАЗ равен 0,2. Отсюда можно сделать заключение, что для автомобилей с коэффициентом сопротивления 0,15 и 0,08 экономность еще больше увеличится.

ГЛАВА ПЯТАЯ

КОНСТРУКЦИЯ ОБТЕКАЕМЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Развитие конструкции обтекаемых автомобилей с первых опытных образцов пошло по двум основным направлениям.

Первое — это конструирование обтекаемых автомобилей на базе существующих стандартных шасси с двигателем, расположенным в передней части, и второе — это конструирование не только обтекаемых кузовов, но и специально приспособленных для этих кузовов шасси.

Рассмотрим вначале первые опытные образцы обтекаемых автомобилей, отражающие эти два основных направления.

В качестве примера первого типа обтекаемых автомобилей остановимся на автомобиле, сконструированном немецким инженером Jaгау.

Этот автомобиль был построен в 1923 г. и показал значительные преимущества перед автомобилем стандартного типа.

По опытам инж. Jaгау коэффициент сопротивления этого автомобиля в 2,5 раза меньше коэффициента сопротивления стандартного необтекаемого автомобиля.

До настоящего дня данный автомобиль оставался экспериментальным образцом; это следует объяснить не конструктивными недостатками его, а тем, что не ощущалась потребность в обтекаемых автомобилях в связи с небольшими скоростями движения.

Автомобиль Jaгау представляет из себя комбинацию двух обтекаемых тел, установленных одно на другом. Нижняя часть — удлиненный корпус — закрывает радиатор, двигатель и колеса. Эта часть кузова представляет половину обтекаемого тела, с плоскостью разреза параллельно плоскости дороги. По верхнему контуру этот удлиненный корпус представляет точный профиль идеального обтекаемого тела, с боков он ограничен плоскостями. На этот удлиненный корпус установлен более короткий, представляющий собственно кузов. Этот кузов несколько уже, чем удлиненный корпус. Переход от кузова к удлиненному корпусу выполнен очень плавно. Задняя часть кузова сливается с хвостом удлиненного нижнего корпуса. Низ автомобиля закрыт сплошным щитком.

При конструировании своего автомобиля инж. Jaгау имел в виду направить встречный воздух в основном по верхней

поверхности нижнего удлиненного корпуса. Дальше кузов рас-секал этот поток и пропускал его по сторонам. Частично поток воздуха шел по верху кузова, сливаясь в хвостовой части с основными потоками воздуха, огибающими кузов по сто-ронам.

Принцип построения внешней формы, принятый инж. Jaгау, широко применяется при конструировании современных обтекае-мых автомобилей.

В качестве примера обтекаемого автомобиля второго типа остановимся на автомобиле Rumpier.

В то время как Jaгау в своей конструкции стремился направ-ить встречный воздух по верхней поверхности, Rumpier придал своему автомобилю обтекаемую форму в горизонтальной пло-скости, т. е. стремился направить весь встречный воздух по бо-кам. Стремление придать своему автомобилю обтекаемую форму в горизонтальной плоскости заставило сделать ряд существен-ных изменений в конструкции шасси.

Основное принципиальное отличие шасси Rumpier заклю-чается в том, что двигатель помещен в задней части.

Двигатель 6-цилиндровый, состоит из трех блоков, располо-женных под углом друг к другу. Коробка передач и дифферен-циал в одном блоке с двигателем. Подвеска задних ведущих колес независимая.

Обтекаемость автомобиля Rumpier значительно лучше обте-каемости стандартных автомобилей. Так же как и в автомобиле Jaгау, сопротивление примерно 2,5 раза меньше сопротивления стандартного автомобиля.

Rumpier использовал далеко не все преимуще-ства специаль-ного шасси. Основное стремление придать автомобилю обтекае-мость в горизонтальной плоскости не было выполнено уже по-тому, что как передние, так и задние колеса выступали из об-щего обтекаемого корпуса. Специальные обтекатели, установ-ленные на колесах, только частично выправляли этот недостаток.

Опыты G. Reid, изложенные выше, показывают, что в авто-мобилях с двигателем, расположенным в задней части, можно получить обтекаемость значительно превышающую обтекаемость автомобиля типа Jaгау.

На автомобиле Rumpier мы остановились не потому, что внешняя форма этого автомобиля представляет образец обте-каемости, а главным образом потому, что этот автомобиль яв-ляется первым опытным образцом обтекаемого автомобиля с двигателем, расположенным в задней части.

В качестве примера современного обтекаемого автомобиля с мотором, расположенным впереди, рассмотрим американский автомобиль Крейслер 1934 г.

Вопросом обтекаемости завод Крейслер занимается уже в течение шести лет. Первый опытный образец был выпущен в 1930 г. Этот автомобиль является лишь экспериментальной моделью, построенной для исследования влияния обтекаемости на динамику и экономику автомобиля (фиг. 61).

Результаты испытаний показали значительное преимущество этого автомобиля по отношению к стандартному. Сопротивление воздуха этого автомобиля получилось в 2,3 раза меньше сопротивления обычного необтекаемого автомобиля. По внешней форме автомобиль во многом напоминает автомобиль инженера Jaгау. Так же как и в автомобиле Jaгау, кузов скомбинирован из двух обтекаемых тел, расположенных одно над другим.

При конструировании своих последних обтекаемых автомобилей для массового производства Крейслер значительно отступил от конструкции первой опытной модели. В результате этих изменений несколько ухудшилась обтекаемость, но при этом значительно улучшилась комфортабельность автомобиля.



Фиг. 61. Опытный образец обтекаемого автомобиля Крейслер.

До того как сконструировать обтекаемый автомобиль для массового производства, были проведены тщательные исследования аэродинамических качеств на моделях. Попутно были проведены также исследования подвески автомобиля.

Для исследования обтекаемости в лаборатории завода была построена аэродинамическая труба. Аэродинамическая труба завода Крейслер имеет небольшое сечение рабочей части, вследствие чего испытания проводились с одной моделью, устанавливаемой на неподвижной плите.

При анализе различных методов испытаний в аэродинамических трубах было установлено, что метод испытания одной модели, устанавливаемой на неподвижной плите, дает неточные данные о сопротивлении воздуха. Здесь на сопротивлении сказывается влияние пограничного слоя неподвижной плиты. Однако этот метод испытания дает возможность получить материал, позволяющий произвести сравнительную оценку обтекаемости различных моделей. Модели автомобилей были сделаны в $\frac{1}{10}$ натуральной величины. Результаты исследования приведены в табл. 27.

По опытам проф. Лау сопротивление воздуха при испытании одной модели меньше в 1,35 раза сопротивления воздуха той же модели при испытании методом зеркального отображения.

Последний метод испытаний наиболее точно воспроизводит характер обтекания воздухом автомобиля при движении его по дороге. В последней графе настоящей таблицы приведены зна-

чения коэффициента сопротивления воздуха с учетом поправки на влияние пограничного слоя плиты. В этом случае коэффициенты сопротивления воздуха получились очень большие, значительно превышающие коэффициенты, полученные в других лабораториях при испытании аналогичных моделей. Отсюда можно сделать заключение, что поправочный коэффициент, учитывающий влияние пограничного слоя плиты по данным проф. Lau, не всегда

Таблица 27

Значения коэффициентов сопротивления воздуха моделей автомобиля
Крейслер

М о д е л ь	Сопротивление в кг при $v = 26,6$ <i>м/сек</i>	Лобовая площадь в $м^2$	k коэффициент сопротивления	k_1 коэффициент сопротивления с поправкой по Lau
Седан 1930 г. Обтекаемый Седан	0,68	0,0238	0,322	0,435
1934 г. Обтекаемый купэ	0,58	0,0241	0,272	0,368
1934 г.	0,53	0,0236	0,253	0,342

применим к испытаниям в других аэродинамических трубах. Как увидим из дальнейшего, в большей степени соответствуют действительности значения коэффициентов без учета поправки на влияние пограничного слоя плиты.

Тот факт, что обтекаемая модель имеет только на 25% меньше сопротивление воздуха, чем сопротивление необтекаемой модели, говорит о том, что обтекаемость данной модели недостаточно хорошо продумана.

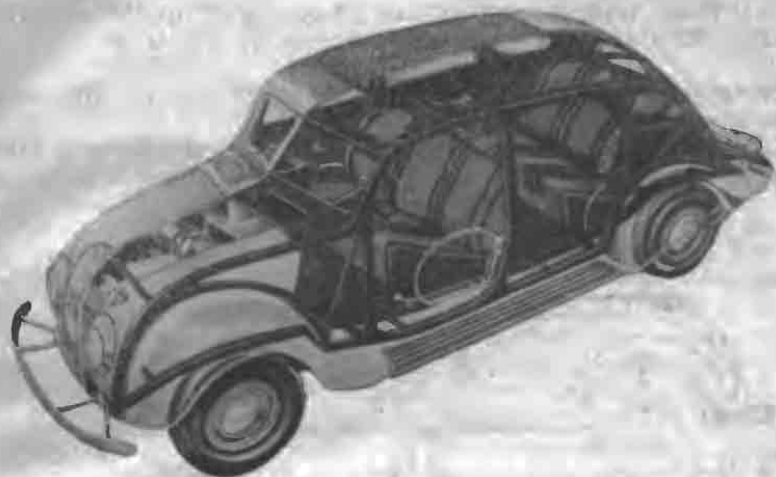
Автомобиль Крейслер имеет хорошую обтекаемость в вертикальной плоскости, тогда как в горизонтальной плоскости он ничем не отличается от обычного необтекаемого автомобиля. Все горизонтальные сечения имеют форму прямоугольника с слегка закругленными углами. Общая длина автомобиля немного больше, чем длина однотипного необтекаемого автомобиля. Ширина такая же, но вследствие того, что сам кузов шире, вся машина производит впечатление более широкой, чем обычный лимузин. Колеса закрыты общим контуром. Перед автомобиля слегка закруглен. Фары вделаны в передний обтекаемый контур. Переднее стекло имеет наклон назад под углом 50° и состоит из двух частей, расположенных под углом 150° друг к другу.

К особенностям этого автомобиля нужно отнести также оригинальную конструкцию каркаса кузова. Каркас кузова во многом напоминает ферму моста, благодаря чему значительно увеличена прочность кузова (фиг. 62).

Очень тщательно разработан в данной конструкции вопрос о правильном распределении веса на оси с точки зрения комфортабельности езды.

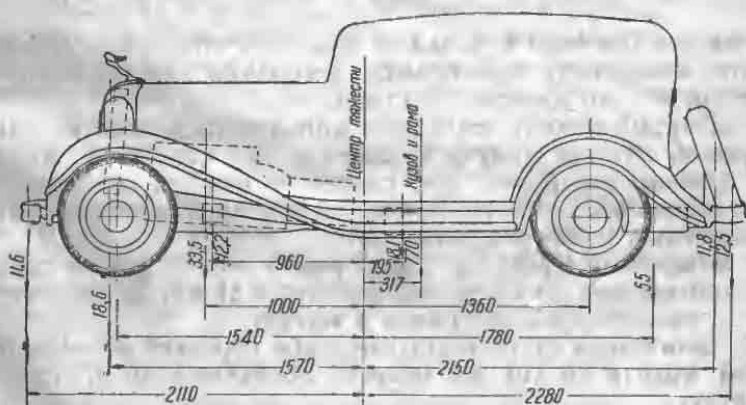
На фиг. 63 показано расположение центров тяжести отдельных агрегатов автомобиля Крейслер—Седан выпуска 1933 г. и обтекаемого выпуска 1934 г. (фиг. 64).

В последней модели на перераспределении веса по осям сказалось в первую очередь новое расположение двигателя.



Фиг. 62. Обтекаемый автомобиль Крейслер 1934 г.

Двигатель сдвинут вперед на 450 мм по отношению к расположению в старой конструкции. Точно так же сдвинут вперед и центр тяжести самого кузова.



Фиг. 63. Распределение веса в автомобиле Крейслер 1933 г.

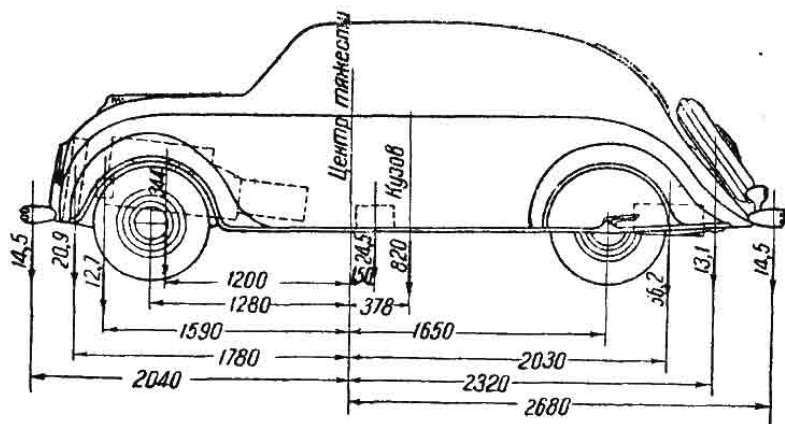
Обтекаемый кузов получился значительно длиннее, сидения передвинуты несколько вперед. Заднее сидение помещается не над осью, а впереди ее и намного ниже, чем в обычной машине.

Такое расположение сидений улучшает ездовые качества уже потому, что при тех же угловых колебаниях автомобиля вертикальное перемещение сидений значительно меньше.

Комфортабельность улучшилась также еще благодаря большей нагрузке на переднюю ось, так как в результате увеличения нагрузки получился больший статический прогиб передней рессоры. Стабилизация передних колес от этого не ухудшилась.

Статический прогиб рессоры определяет частоту колебаний системы.

Из теоретической механики известно, что чем жестче рессора и чем меньше масса, тем частота колебаний выше, и наоборот



Фиг. 64. Распределение веса в автомобиле Крейслер 1934 г.

при мягкой рессоре и большей массе частота ниже. Чем выше частота колебаний, тем больше ускорение, так как ускорение пропорционально квадрату частоты.

Комфортабельность же можно определять именно величиной ускорения, которое получает пассажир при колебаниях машины. Чем больше ускорение, тем скорее утомляется пассажир. Поэтому понижение частоты колебаний передней подвески привело к повышению комфортабельности.

В автомобиле Крейслер Седан необтекаемой формы статический прогиб передней рессоры равняется 81 мм, соответственно частота равняется 115 периодов в минуту.

С увеличением статического прогиба передней рессоры обтекаемой модели до 110 мм частота понизилась до 97 периодов в минуту.

В значительной мере на комфортабельности сказывается величина момента инерции автомобиля. Чем больше момент инерции автомобиля, тем ниже ускорение вертикального перемещения пассажиров.

В обтекаемом автомобиле момент инерции, вследствие передвижки двигателя вперед, значительно больше, чем в обычной

машине. Благодаря этому частота колебаний снизилась до 90 периодов в минуту.

Распределение веса в автомобиле имеет наиболее существенное влияние на комфортабельность еще и потому, что оно сказывается на реакции на заднюю рессору в момент прохождения передних колес через препятствия, или наоборот на реакции на переднюю рессору в момент прохождения задних колес через препятствие.

Случай, когда колебания одной рессоры не вызывают колебаний второй, можно рассматривать как наиболее благоприятный с точки зрения комфортабельности.

Рассмотрим это явление на обычном автомобиле. При ударе передних колес о препятствие задние рессоры прогибаются под действием реактивной силы. В этот момент задние колеса наезжают на препятствие и прогиб задней рессоры еще больше увеличивается. В результате автомобиль сильно раскачивается. Этого можно избежать при правильном распределении веса.

Если к центру тяжести тела, вращающегося около точки подвеса, прилагается внешняя сила, то действие этой силы целиком передается и на точку подвеса. Это происходит благодаря тому, что сила не имеет плеча относительно центра тяжести и не расходуется на преодоление момента инерции тела.

Если силу приложить не к центру тяжести, действие на точку вращения уменьшится.

Наконец, можно найти такую точку приложения внешней силы, когда на точку подвеса не будет передаваться никакой силы. Эта точка называется центром удара.

Если центр удара для автомобиля находится как раз над задней осью, когда передняя ось является центром поворота или наоборот, то в этом случае получается совершенно независимое действие как передней, так и задней подвески. Чтобы достигнуть этого, необходимо определенное соотношение между моментом инерции подпрессорной массы, базой и положением центра тяжести.

Теоретическая механика дает решение этого вопроса.

Это положение может быть выполнено при условии, когда момент инерции автомобиля относительно точки вращения равен массе всего автомобиля, умноженной на произведение базы автомобиля и на расстояние центра тяжести от точки вращения.

Разберем случай вращения около задней оси.

Математически это можно выразить следующим равенством:

$$J = M \cdot a \cdot l, \quad (42)$$

где: J — момент инерции автомобиля относительно задней оси;

M — масса подпрессоренной части автомобиля;

l — база автомобиля;

a — расстояние от центра тяжести до задней оси.

Подставим в формулу (42) значение J через массу и радиус инерции:

$$J = M \rho^2,$$

где ρ — радиус инерции

$$\rho^2 = a \cdot l, \quad (43)$$

или иначе

$$\frac{\rho^2}{a \cdot l} = 1. \quad (44)$$

Отношение $\frac{\rho^2}{a \cdot l}$ является показателем, насколько правильно распределен вес в автомобиле.

Когда $\frac{\rho^2}{a \cdot l} = 1$, тогда нет никакого взаимодействия между задними и передними рессорами.

Чем больше или меньше единицы это отношение, тем больше взаимодействие передних и задних рессор.

В автомобиле обычной конструкции это отношение приблизительно равно 0,75.

В табл. 28 приведены значения увеличения $\frac{\rho^2}{a \cdot l}$ в обтекаемом автомобиле по сравнению с необтекаемым. Это увеличение вызвано перемещением центров тяжести различных агрегатов.

Таблица 28

Изменение отношения $\frac{\rho^2}{a \cdot l}$ в автомобиле Крейслер с обтекаемым кузовом по отношению к стандартному автомобилю

№ п.п.	Наименование агрегата	Изменение расстояния в мм	Увеличение ΔJ	Увеличение $\frac{\rho^2}{a \cdot l}$
1	Двигатель	0,457	374,0	0,134
2	Радиатор	0,467	40,0	0,0146
3	Рулевой механизм	0,886	3,5	0,0113
4	Буфер передний	0,190	25,2	0,0091
5	Буфер задний	0,152	20,8	0,0075
6	Бак	— 0,007	0,29 ¹	0,0001 ¹
7	Батарея	— 0,302	— 0,42	0,001
8	Запасное колесо	— 0,097	1,05 ¹	0,0004 ¹
9	Рама и кузов (без увеличения самого кузова)	— 0,097	— 493,0	0,0172
	Всего	—	—	0,1597

Суммарное увеличение отношения $\frac{\rho^2}{a \cdot l}$ за счет перемещения отдельных агрегатов получилось равным 0,159.

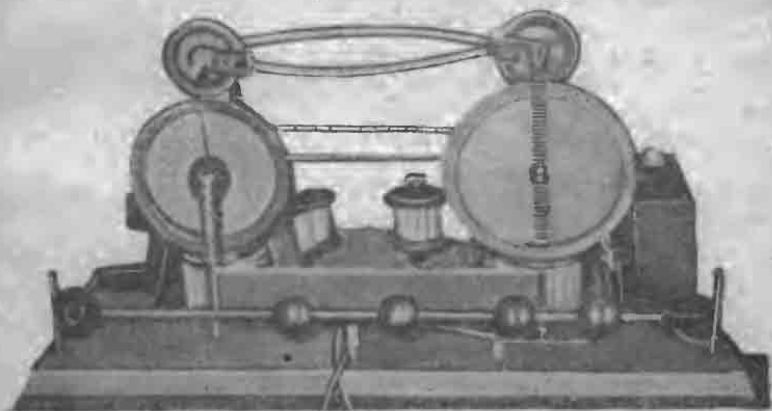
Прибавляя это изменение $\frac{\rho^2}{a \cdot l}$ к значению $\frac{\rho^2}{a \cdot l}$ для стандартной

¹ Изменение момента инерции, несмотря на меньшее расстояние от центра тяжести, положительное, потому что вес этих агрегатов больше.

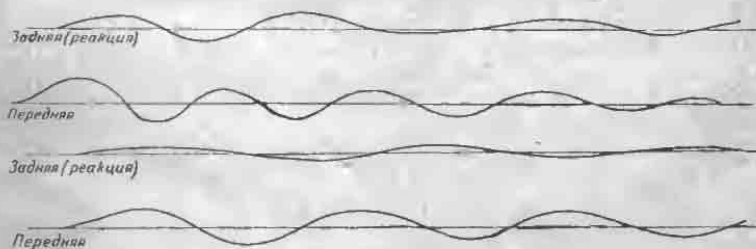
машины, равному 0,75, получим для обтекаемого автомобиля $\frac{\rho^2}{al} = 0,9097$.

При составлении таблицы изменения для обтекаемого автомобиля не было учтено увеличение момента инерции самого кузова.

Момент инерции кузова математически очень трудно подсчитать, но можно заранее сказать, что момент инерции обтекаемого кузова во всяком случае больше, чем у необтекаемого.



Фиг. 65. Прибор для исследования подвески.



Фиг. 66. Графики колебаний подвески модели автомобиля с различным распределением веса по длине.

Следовательно, учитывая увеличение момента инерции кузова, мы можем считать, что для обтекаемого автомобиля $\frac{\rho^2}{al} = 1$.

До того как сконструировать обтекаемый автомобиль, были проведены работы по исследованию влияния распределения веса на комфортабельность на упрощенной модели.

На фиг. 65 представлен прибор, специально спроектированный для этого исследования.

Колебания передней и задней подвески записывались на самопишущем приборе. Конструкция модели автомобиля предусматривала возможность любого распределения веса.

На фиг. 66 показан график колебаний передней и задней подвески. Возмущающая сила прикладывалась к передним колесам.

Как видно из диаграммы, для случая $\frac{\rho^2}{at} = 0,8$ (см. верхнюю пару кривых) колебания передней подвески вызывали колебания задней.

Для случая $\frac{\rho^2}{at} = 1$ (см. нижнюю пару кривых) колебания передней подвески почти не вызывали колебания задней.

Как уже упоминалось, более правильное распределение веса в обтекаемом автомобиле получилось главным образом за счет перемещения двигателя на 457 мм вперед по отношению к расположению в старой модели.

Двигатель расположен как раз над передней осью. Для того чтобы получить соответствующий зазор между осью и картером коленчатого вала, двигатель установлен несколько выше, чем в старой модели и с большим наклоном оси коленчатого вала. Радиатор установлен намного ниже, так что вентилятор насажен непосредственно на коленчатый вал.

Двигатель, радиатор и передние колеса закрыты общим обтекателем. Передняя часть этого обтекателя имеет закругленную форму. В этот общий обтекатель вделана сетка радиатора. Точно так же не выделяются из общего контура и фары, они утоплены в том же обтекателе. Средняя часть переднего обтекателя подъемная.

Подняв среднюю часть обтекателя, можно свободно осмотреть основные части двигателя, требующие более или менее частого осмотра.

Осмотр клапанной коробки и нижней части картера можно произвести только после того, как будет снято переднее колесо и часть переднего крыла.

Двигатель 8-цилиндровый с расположением цилиндров в один ряд. Диаметр цилиндров 82,5 мм, ход поршня 114 мм. Рабочий объем цилиндров 4,892 л. Максимальная мощность мотора 106 л. с. при 3200 об/мин. Подвеска двигателя плавающая. Коробка передач трехскоростная с передаточными числами $i_1 = 2,59$; $i_2 = 1,49$; $i_3 = 1$.

Имеется также мультипликатор с планетарной передачей и со свободным ходом. Передаточное число мультипликатора 0,705.

Мультипликатор на больших скоростях снижает число оборотов двигателя и это является основным его назначением. Благодаря применению мультипликатора удлиняется срок службы двигателя, понижается расход горючего и масла.

На малых же скоростях при выключенном мультипликаторе, автомобиль обладает большим запасом мощности и отсюда высокими динамическими качествами.

На фиг. 67 приведен график, показывающий влияние мультипликатора на характеристику автомобиля. Мультипликатор автоматически включается при скорости автомобиля в 70 км/час.

Как видим из графика, прирост максимальной скорости при включенном мультипликаторе очень незначительный и составляет всего 4 км/час, но при этом обороты двигателя значительно снизились. Без мультипликатора число оборотов на максимальной скорости в 138 км/час равно 3980 об/мин, с мультипликатором на максимальной скорости в 142 км/час число оборотов снизилось до 2890 об/мин.

Необходимо отметить в данной конструкции очень высокое расположение рулевого механизма. Это было сделано для того, чтобы придать рулевому колесу почти вертикальное положение, что значительно облегчает управление.

Крейслер выпускал в 1934 г. три типа обтекаемых автомобилей, незначительно отличающихся друг от друга базой и главной передачей.

Анализ влияния мультипликатора проведен для автомобиля с передаточным числом главной передачи равным 4,1.

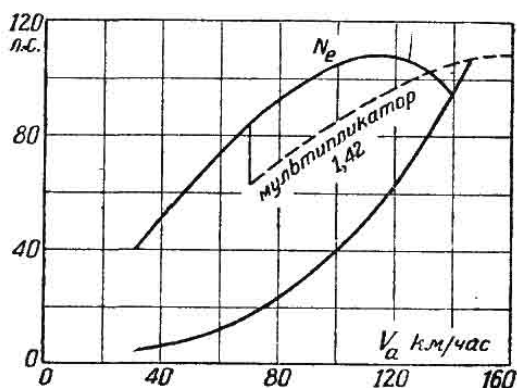
При проведении дорожных испытаний этого автомобиля, были получены очень высокие показатели динамики и экономии горючего.

В момент испытания автомобиль с двумя пассажирами весил 2030 кг.

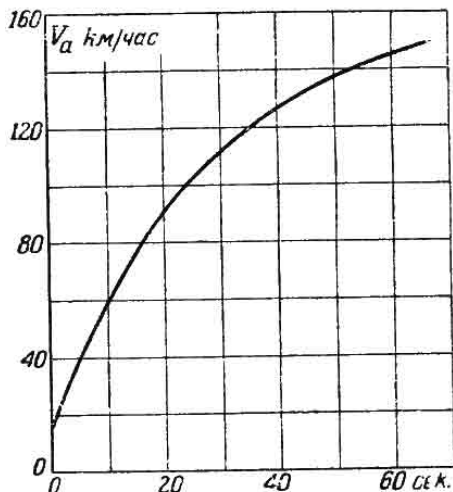
При испытании на бетонной дороге автомобиль развил максимальную скорость в 145 км/час. Мощность двигателя в этот момент согласно характеристике, изображенной на фиг. 66, равнялась 105 л. с.

Приняв механический к. п. д. трансмиссии равным 0,85 и коэффициент качения $f=0,018$, мы получим коэффициент сопротивления воздуха $k=0,265$.

Как видим, коэффициент сопротивления воздуха, полученный в результате нашего пересчета данных дорожных испытаний, совпадает с коэффициентом, полученным в аэроди-



Фиг. 67. Рабочий баланс автомобиля Крейслер с мультипликатором.



Фиг. 68 Скорость разгона автомобиля Крейслер.

намической трубе при продувке модели в $1/10$ натуральной величины.

Приемистость автомобиля Крейслер очень хорошая. На фиг. 68 приведен график скорости разгона по времени на прямой передаче. Из рассмотрения графика видно, что скорость в 80 км/час автомобиль набирает за 15 сек., а скорость в 145 км/час за 65 сек.

В отчете испытаний приведены только средние данные по расходу топлива, а именно автомобиль расходует 11,4 кг бензина на 100 км пути.

Автомобили Крейслер выпуска 1935 г. имеют несколько видоизмененную конструкцию. Изменениям подверглась передняя подвеска. Вместо независимой подвески передних колес, поставлена обычная ось с продольными рессорами.

Изменениям подверглась также форма передка автомобиля. В обтекаемой машине 1934 г. он имеет закругленную форму. В модели 1935 г. сетка радиатора выступает несколько из общего контура. Это является некоторым принципиальным отступлением от рациональной формы кузова. Практическое же влияние этого изменения формы на аэродинамические качества автомобиля очень незначительное.

Как упоминалось вначале, автомобиль Крейслер обладает не очень высокими аэродинамическими качествами по сравнению с другими обтекаемыми автомобилями.

Более подробный разбор данной конструкции нами приведен потому, что данный автомобиль является автомобилем массового производства. Кроме того, эта конструкция представляет интерес и как новый тип кузова с жестким каркасом. Также представляет интерес решение вопроса о распределении веса и комфортабельности. Последнее особенно следует отметить, так как по этому пути пошло большинство автомобильных заводов, применяя этот принцип распределения веса даже в необтекаемых моделях.

В частности отметим, что Форд применил эту идею в своем автомобиле выпуска 1935 г.

Несколько лучше соблюдены принципы обтекаемости в автомобиле Майбах (фиг. 69).

Внешняя форма этого автомобиля является копией автомобиля Жагау, описанного выше. Нижний удлиненный обтекаемый корпус в передней части несколько уже, чем в автомобиле Жагау, и поэтому на передние колеса пришлось делать обтекаемые крылья. Кабина несколько уже, чем удлиненный корпус с большим углом наклона как переднего, так и боковых стекол. Автомобиль обладает хорошими динамическими качествами. Мощность двигателя 150 л. с.

Описанием этих двух конструкций обтекаемых автомобилей с двигателем, расположенным в передней части, мы и ограничимся.

Обтекаемые автомобили с двигателем, расположенным сзади, имеют ряд преимуществ перед автомобилями, имеющими двигатель, расположенный впереди. Основное преимущество заключа-

ется в том, что они обычно обладают лучшими аэродинамическими качествами.

В качестве примера такого автомобиля мы уже приводили автомобиль Румплер.

При разборе конструкции автомобиля Крейслер был рассмотрен вопрос о влиянии распределения веса на комфортабельность езды. Основное требование для улучшения комфортабельности заключалось в том, чтобы по возможности увеличить момент инерции автомобиля относительно передней и задней осей. В автомобиле Крейслер этот вопрос был решен тем, что двигатель был передвинут вперед на 457 мм и помещен как раз над передней осью.

С точки зрения механики совершенно безразлично, как получить соответствующее увеличение момента инерции, перенести двигатель вперед и поместить его над передней осью или же



Фиг. 69. Обтекаемый автомобиль Майбах.

поместить его над задней осью. Конструктивно выполнять его требование не представляет затруднений.

В дальнейшем мы рассмотрим ряд конструкций автомобилей с двигателем, расположенным сзади.

Лучшая обтекаемость автомобиля с двигателем, расположенным сзади, получается благодаря более правильной пропорции между длиной и высотой.

В то время как в автомобиле типа Жагау с двигателем, помещенным впереди, высота автомобиля остается такой же, как и в необтекаемом автомобиле, т. е. 1700 мм, в автомобилях с двигателем в задней части при той же вместимости кузова и при тех же клиренсах—высота значительно ниже.

Высота автомобилей с двигателем в задней части может быть снижена до 1500 мм.

Отсюда сопротивление воздуха такого автомобиля значительно меньше не только потому, что коэффициент сопротивления воздуха меньше, но еще и потому, что меньше лобовая поверхность.

Лучшая обтекаемость достигается не только благодаря более

правильным пропорциям между длиной и высотой. В то время как в обтекаемом автомобиле с двигателем, расположенным впереди, кузов обычно комбинируется из двух обтекаемых тел, поставленных одно на другое, в автомобиле с двигателем в задней части можно обойтись одним общим обтекаемым контуром. Максимальное поперечное сечение в этом автомобиле можно дать именно в том месте, где это требуется по условиям лучшей обтекаемости, а именно, на расстоянии $\frac{1}{3}$ от переднего конца.

В автомобилях с двигателем, расположенным впереди, этого достичь нельзя. Максимальное поперечное сечение этих автомобилей сдвинуто назад, что, конечно, ухудшает аэродинамические качества.

Исследования G. Reid, проведенные в аэродинамической лаборатории Guggenheim, показали, что сопротивление воздуха модели обтекаемого автомобиля с двигателем в задней части значительно меньше сопротивления модели обтекаемого автомобиля с двигателем, расположенным впереди.

В то время как коэффициент сопротивления автомобиля типа Jaгау равен 0,15, коэффициент сопротивления модели обтекаемого автомобиля с двигателем в задней части, разработанной G. Reid, равен 0,08.

Помимо того, что обтекаемый автомобиль с двигателем, расположенным в задней части, имеет лучшие аэродинамические качества, такой автомобиль имеет еще два преимущества по сравнению с обтекаемым автомобилем, расположенным на базе стандартного шасси.

Первое преимущество заключается в том, что значительно улучшается обзор дороги со стороны водителя, и второе, что при расположении двигателя в задней части в кузов проникает значительно меньшее количество вредных газов.

Обзор дороги улучшается благодаря тому, что сидение водителя расположено значительно ближе к переднему концу автомобиля.

В таком автомобиле отсутствует удлиненный капот и радиатор, затрудняющие обзор дороги.

В качестве примера обтекаемого автомобиля с двигателем, расположенным в задней части, рассмотрим в первую очередь наиболее совершенную конструкцию с точки зрения обтекаемости, а именно автомобиль, показанный на фиг. 70.

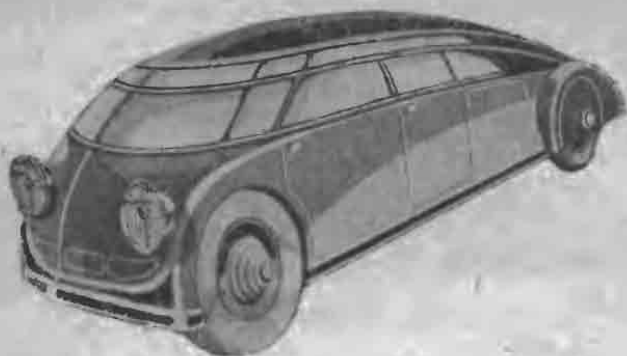
Этот автомобиль, несмотря на то что имеет очень много общего в конструкции шасси с автомобилем Румплер, значительно отличается от последнего по внешней форме. Он обтекаем не только в горизонтальной плоскости, но также и в вертикальной.

Правда, обтекаемость в горизонтальных плоскостях, в особенности в нижней части, несколько хуже, чем в вертикальной, но лучшего едва ли можно будет достичь при данном типе шасси, а именно с обычным расположением колес.

Включая колеса в габариты обтекаемого кузова, получаем

в горизонтальном сечении прямоугольник с закругленными углами. Чтобы получить в сечении профиль обтекаемого тела при данной колее, пришлось бы чрезмерно увеличить ширину кузова.

Оставляя ту же ширину кузова, пришлось бы значительно уменьшать колею, что сказалось бы на устойчивости автомобиля.



Фиг. 70. Обтекаемый автомобиль с двигателем, расположенным в задней части.

В приведенной конструкции автомобиля горизонтальные сечения кузова по мере приближения к верху имеют профиль, все более и более приближающийся к профилю идеально обтекаемого тела. Так как закругленный профиль верхней части кузова не дает возможности установить широкие передние и боковые стекла, то имеются еще дополнительные узкие стекла, расположенные на самом переходе к крыше, благодаря чему значительно улучшено естественное освещение внутри кузова.

Кузов не имеет никаких выступающих частей, что при очень хорошей общей внешней форме дает возможность получить высокие аэродинамические качества.

Для того чтобы предотвратить поломки кузова от возможных столкновений с машинами в условиях городского движения, весь кузов опоясан резиновым буфером.



Фиг. 71. Обтекаемый автомобиль инж. Кастанья.

Аналогичная конструкция обтекаемого автомобиля представлена на фиг. 71. Этот автомобиль спроектирован итальянским инж. Кастанья.

Рассмотренные обтекаемые автомобили являются лишь экспериментальными моделями.

Однако имеются обтекаемые автомобили с двигателем, расположенным в задней части, выпускаемые на заводах массового и серийного производства.

К числу таких можно отнести чехословацкий автомобиль Татра и немецкий Мерседес.

На фиг. 72 изображен обтекаемый автомобиль Татра. Несмотря на то что двигатель в данной конструкции расположен сзади длина хвостовой части кузова не превышает нормальных размеров.



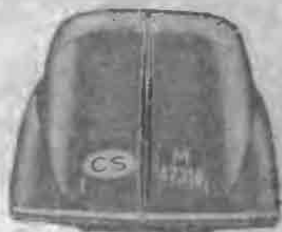
а



б



в



г

Фиг. 72. Обтекаемый автомобиль Татра.

Внешние очертания кузова значительно отступают от формы только что рассмотренного автомобиля, сконструированного инж. Кастанья.

В данном случае недостаточно использованы те преимущества, которые дает конструкция шасси с двигателем, расположенным в задней части.

Вместо того чтобы ограничиться одним общим обтекаемым телом, как это сделал инж. Кастанья, в автомобиле Татра кузов состоит из двух элементов, как и в обычных автомобилях. Имеется обтекаемый фальшивый капот, дальше переднее стекло и кабина для водителя и пассажиров.

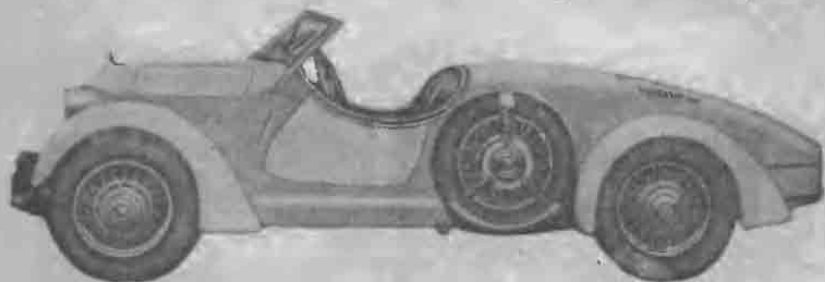
В передний обтекатель вделаны фары. Фальшивый капот закрывает два запасных колеса, аккумуляторную батарею и помещение для инструмента и запасных частей.

Переднее стекло наклонено назад под углом 45° , что отчасти компенсирует малый радиус перехода к крыше. Переднее стекло состоит из трех частей: центральной плоской и двух узких гнутых. Боковые стекла установлены с большим наклоном. Кузов

достаточно широк, так что на двух сидениях свободно размещаются по 3 человека. Имеются 4 двери. Подножка находится внутри кузова.

Несмотря на то что двигатель помещен сзади, за задним сидением имеется еще достаточно места для багажа.

Двигатель V-образный, 8-цилиндровый. Рабочий объем цилиндров 3 л. Максимальная мощность двигателя 65 л. с. Охлаждение воздушное. По обеим сторонам двигателя расположены вентиляторы для подачи охлаждающего воздуха к цилиндрам. При-

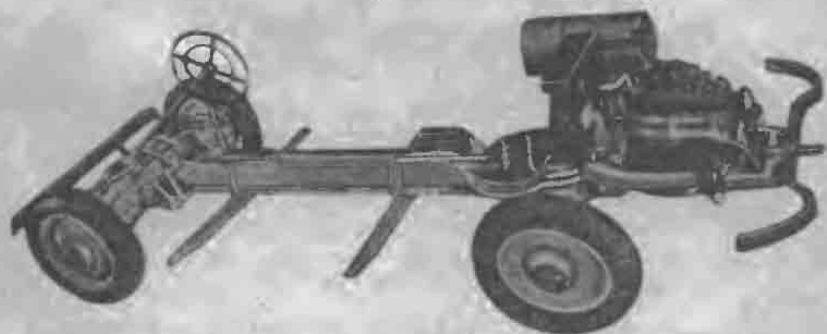


Фиг. 73. Спортивный обтекаемый автомобиль Мерседес.

вод вентиляторов осуществлен при помощи ременной передачи. Максимальная скорость этого автомобиля с пятью пассажирами— 150 км/час. Средний расход топлива 14 л на 100 км пути.

Автомобиль Мерседес с мотором, расположенным в задней части, так же как и автомобиль Татра, является далеко не идеальной конструкцией обтекаемого автомобиля.

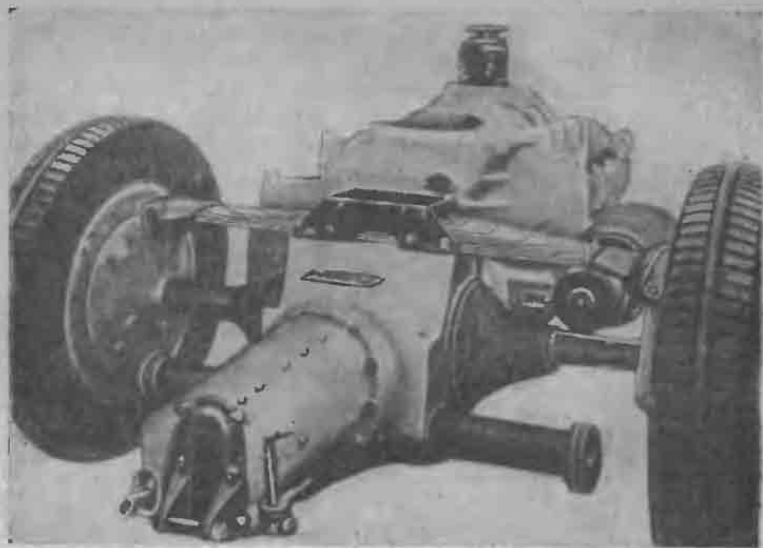
Впереди также имеется фальшивый капот, закрывающий багажник, а затем обычный переход к кабине. На фиг. 73 дана фотография обтекаемого спортивного автомобиля Мерседес. Основной удлиненный, обтекаемый корпус оставлен такой же, как и в Лимузине. Радиатор расположен сзади (фиг. 74).



Фиг. 74. Шасси автомобиля Мерседес.

Так как для охлаждения радиатора не может быть использован напор встречного воздуха, то для подачи охлаждающего воздуха установлен центробежный вентилятор.

В автомобиле Мерседес двигатель перемещен вперед относительно задней оси (фиг. 75). Благодаря такому размещению нагрузка на заднюю ось составляет 55% общего веса.



Фиг. 75. Расположение двигателя в автомобиле Мерседес.

Совершенно новый тип обтекаемого автомобиля построен на авиационном заводе Stout (фиг. 76).

Стандартный V-образный двигатель расположен сзади. Мощность двигателя 100 л. с.



Фиг. 76. Автомобиль Stout.

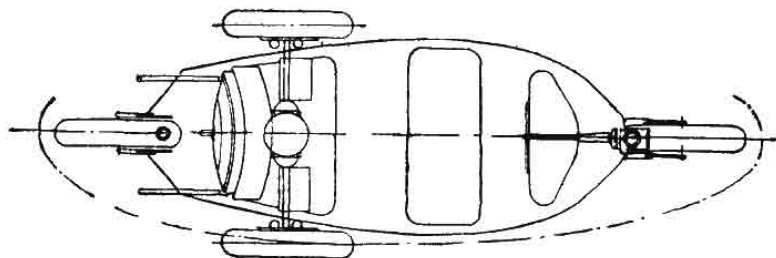
При проектировании помимо обтекаемости имелось в виду дать по возможности лучшую видимость дороги и большую вместимость кузова.

В кузове при общей длине, не превышающей длину стандартных американских автомобилей марки Форд и Шевроле, свободно помещается 5 человек.

Ширина кузова, как во всех обтекаемых автомобилях, значительно превышает ширину кузова стандартных автомобилей. Подножки включены в габариты кузова. Помимо сидений, часть из которых может свободно передвигаться, в кузове также установлен стол. Предназначается этот автомобиль для длительных поездок.

Данный автомобиль представляет интерес не только по внешней форме, но и с точки зрения конструкции каркаса кузова и подвески.

Очевидно здесь был использован опыт постройки цельно-металлических аэропланов. Каркас кузова выполнен из стальных авиационных труб, благодаря чему вес автомобиля получился меньше веса стандартного автомобиля.



Фиг. 77. Конструкция шасси автомобиля Voisin.

Подвеска автомобиля выполнена по типу аэропланного шасси. Кузов подвешен выше своего центра тяжести, а именно на уровне нижней линии окон. Это значительно улучшает комфортабельность кузова, в особенности на поворотах. На повороте кузов делает соответствующий крен, так что пассажиры не испытывают действия центробежной силы. Подвеска колес индивидуальная, рессоры спиральные.

Все описанные конструкции обтекаемых автомобилей имеют один общий существенный недостаток: обтекаемость в горизонтальной плоскости удается осуществить только в верхней части. Внизу на уровне колес горизонтальное сечение представляет прямоугольник с округленными углами.

Для того чтобы получить обтекаемость и в горизонтальной плоскости, французским заводом Voisin разработан проект конструкции шасси совершенно нового типа.

На фиг. 77 представлен план этого шасси, дающий ясное представление об основной идее. Переднее колесо является управляемым. Средняя пара колес ведущая. Двигатель звездообразный, расположен за ведущими колесами.

На данном шасси можно установить кузов значительно лучшей обтекаемости, чем все описанные выше обтекаемые кузова.

В заключение остановимся на конструкции обтекаемых автобусов.

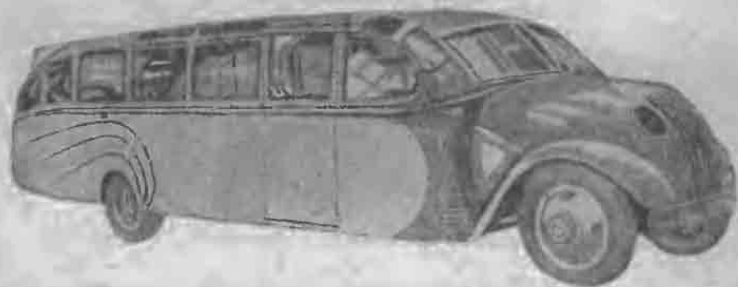
Наряду с быстроходными обтекаемыми легковыми автомоби-

лями в настоящее время за границей начинают появляться и быстроходные обтекаемые автобусы, предназначенные для междугородного сообщения.

Как образец такого автобуса можно привести автобус Opel-Blitz, выставленный в числе других на берлинской автомобильной выставке 1935 г.

На фиг. 78 приведена фотография этого автобуса. Автобус рассчитан на 23 места.

В очертании внешней формы автобус имеет много общего с обтекаемыми легковыми автомобилями. Углы кузова и передняя часть сильно закруглены. Чтобы уменьшить лобовую поверхность и тем самым уменьшить потерю мощности на сопротивление воздуха, а равно для лучшей устойчивости, высота автобуса значительно снижена против высоты обычных автобусов, а именно высота равна 2 м.



Фиг. 78. Обтекаемый автобус Opel-Blitz.

Снизить высоту автобуса удалось благодаря особому расположению сидений. Два ряда сидений расположены посередине, непосредственно на раме шасси. Над задней осью сиденья расположены поперек всего кузова. Вход пассажиров к этим задним сиденьям устроен через отдельную дверь.

Сверху на крыше кузова предусмотрено помещение для багажа.

Автобус развивает максимальную скорость 120 км/час, что при двигателе в 65 л. с. возможно только при хорошо обтекаемой форме.

На фиг. 79 представлен новый обтекаемый автобус, выпущенный автомобильным заводом Мерседес.

Передняя часть автобуса сильно закруглена. Стекла выгнуты в двух плоскостях. Кузов широкий и включает в свои габариты колеса, так что крылья очень незначительно выступают из общего контура. Как задние, так и передние колеса целиком закрыты. Передние колеса имеют достаточный зазор до крыла, так что могут свободно поворачиваться на полный угол.

Автобус развивает скорость до 150 км/час.

Применение принципов обтекаемости в автомобилестроении не ограничивается, конечно, приведенными образцами обтекаемых автомобилей.

И это касается не только опытных конструкций, но и автомобилей, принятых на серийное и массовое производство.

Наряду с большим количеством оригинальных опытных образцов обтекаемых автомобилей, можно указать на целый ряд автомобилей массового производства с хорошей обтекаемостью.

В качестве примера новой оригинальной опытной конструкции укажем на автомобиль, сконструированный французским инж. Dubonnet.

По своим внешним очертаниям этот автомобиль во многом напоминает форму моделей G. Reid. Этот автомобиль является дальнейшим практическим шагом по пути осуществления обтекаемого автомобиля с коэффициентом сопротивления $k = 0,1$. Как мы говорили выше, обтекаемость моделей G. Reid следует счи-



Фиг. 79. Обтекаемый автобус Мерседес.

тать предельной для автомобилей. Двигатель в автомобиле Dubonnet помещен сзади. Построен этот автомобиль будет в 1936 г.

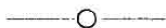
Что касается машин массового производства, то здесь нужно отметить то положение, что американские заводы идут более быстро по пути обновления конструкции. Почти большинство американских заводов в 1936 г. улучшили обтекаемость своих автомобилей.

А такие автомобили как Линкольн-Зефир и Ниртвиле можно поставить наряду с автомобилем Крейслер 1934 г.

Среди европейских автомобилей, помимо описанных выше, имеется также большое количество автомобилей с хорошей обтекаемостью. Так например, автомобили Voisin 1936 г., Peugeot 1936 г., Бугатти 1936.

Но наряду с этими автомобилями имеется и много машин, в которых внешняя форма не сдвинулась с образцов 1928 г. В первую очередь это касается английских марок. В английской технической литературе появляются даже теоретические статьи,

предсказывающие, что старый тип кузовов продержится еще не менее 10 лет. Объясняется с нашей точки зрения это никак не отрицательными сторонами обтекаемых автомобилей и прихотями потребителя, а главным образом условиями производства на заводах со старым оборудованием.



ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ КНИГИ

Andreau M., Air resistance and the automobile „The Automobile Engineer“ 1935, № 328, 329, 330 and 331.

Lay W. E., Is 50 miles per gallon possible with correct streamlining, SAE, 1933 April—May.

Reid G., Farewell to the horseless carriage, SAE, 1935 May.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава I. Основные положения аэродинамики	5
Глава II. Исследование аэродинамического сопротивления автомобиля на моделях	12
1. Оценка метода испытаний	12
2. Опыты по исследованию сопротивления различных моделей	16
3. Влияние ветра на сопротивление воздуха движению автомобиля	45
4. Влияние бокового ветра на устойчивость	49
5. Спектр давления на поверхность автомобиля	54
Глава III. Определение сопротивления воздуха путем испытания автомобиля в дорожных условиях	63
Глава IV. Анализ влияния обтекаемости на динамику и экономику автомобиля	81
Глава V. Конструкция обтекаемых автомобилей	89
Перечень источников	110

Редактор *Г. К. Холоманов.*

Техн. редактор *И. К. Алиханов.*

ТКК № 12. Изд. № 47. Индекс АТ-67-5-4. Тираж 3 500. Сдано в набор 14/XII-35 г. Подп. в печ. 1/III-36 г. Формат бумаги 62 × 94. Уч.-авт. лист. 7¹/₄. Бум. л. 3¹/₂. Печатн. знак. в бумажн. л. 101 000. Заказ № 1947. Уполном. Главл. № В-35601. Выход в свет март 1936 г.

3-я тип. ОНТИ им. Бухарина. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

АННОТАЦИЯ

Главное содержание настоящей книги составляет описание и анализ экспериментальных работ крупнейших зарубежных специалистов в области аэродинамических испытаний автомобилей. К числу специалистов относятся проф. Lay, инж. Andraeu, инж. G. Reid.

Автор поставил себе целью—систематизировать зарубежный материал по вопросу об обтекаемости автомобиля, дополнив его описанием собственных экспериментальных работ, проведенных в аэродинамической лаборатории МАИ и на Горьковском Автозаводе—дать вывод о выборе рациональной формы современного легкового автомобиля.

Изложению методов аэродинамических испытаний предшествует глава об основных положениях аэродинамики.

Книга предназначена для автомобильных инженеров-конструкторов.

ОПЕЧАТКИ

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>
29	10 снизу	сопротивления давления,	сопротивление движению,
51	7 .	дело	тело
68	19 сверху	большой	ббльшей

А. И. Никитин, Исследования обтекаемости автомобиля