

УДК 629.01

Ю.И. Палутин

**ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КУЗОВОВ АВТОМОБИЛЕЙ**

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Выведены два критерия, позволяющие производить сравнительную оценку степени герметичности кузовов различных автомобилей. Введено понятие эффективных площадей неплотностей, позволяющее получать количественную оценку уровня герметичности кузовов автомобилей. Приведены полученные расчетным путем значения допустимых и предельных уровней герметичности кузовов.

*Ключевые слова:* критерии герметичности, эффективная площадь неплотностей, допустимый уровень герметичности.

**Критерии оценки степени герметичности кузовов автомобилей**

Одной из причин, сдерживающих развитие работ, направленных на повышение герметичности кузовов отечественных автомобилей, является отсутствие объективного критерия, который позволял бы как оценивать эффективность направленных на это мероприятий, так и проводить сравнение между собой герметичности кузовов различных моделей автомобилей. Анализ применяющихся в настоящее время в различных областях науки и техники подобных сравнительных оценок показывает, что они в обязательном порядке являются относительными величинами, причем чаще всего подобные критерии безразмерны. Кроме того, наиболее удачны из них те, которые включают в себя полный набор величин, характеризующих сравниваемые параметры.

Из рекомендуемых в ГОСТ 24054-80 [1] способов определения степени герметичности изделий наиболее полную её оценку можно получить путём измерения падения величины давления в единицу времени, с помощью которой не только оценивается протекание газа или жидкости через неплотности изделия, но и определяется их влияние на состояние параметров среды, заполняющей изделие. Однако для автомобилей, кузова которых малогерметичны, такой метод явно не подходит. Падение давления в них будет происходить за слишком коротким отрезком времени.

Для автомобилей самым приемлемым способом определения степени герметичности является измерение расхода воздуха, поступающего в салон, и величины создаваемого в результате этого подпора давления. Определяющими величинами при этом являются количество воздуха, подаваемого в салон, величина возникающего в салоне подпора давления и плотность воздуха, характеризующая его физические свойства.

Однако оценка герметичности только по этим трем параметрам приводит к получению критерия, который не учитывает размеры салона автомобиля, что явно снижает его ценность, так как равноценное количество неплотностей в кузовах автомобилей, имеющих разные по объёму салоны, оказывает на качество их воздушной среды различное влияние. С помощью такого критерия невозможно сравнивать между собой по герметичности различные модели автомобилей. В критерий, оценивающий степень герметичности кузова, должен в обязательном порядке входить характерный размер салона или величина, учитывающая количество воздуха в нём. В качестве подобной величины можно использовать и площадь поверхности всех ограждающих панелей салона, и величину внутреннего его объема. Найдем и проанализируем оценочный критерий с использованием каждой из этих величин.

В качестве определяющих герметичность салонов автомобилей величин используем следующие пять параметров:

$$W, \Delta P, \rho, V_c, F_k. \quad (1)$$

где  $W$  - воздухообмен салона;  $\Delta P$  - перепад между наружными и внутренним давлением;  $\rho$  - плотность воздуха;  $V_c$  - внутренний объем салона;  $F_k$  - площадь ограждающих панелей салона.

Для поиска безразмерного соотношения определяющих герметичность салона величин воспользуемся теорией размерностей. В соответствии с её  $\pi$ -теоремой из пяти определяющих величин при трех основных физических величинах можно получить две безразмерные их комбинации. Расчет показывает, что одна из этих комбинаций при выборе в качестве размерной характеристики салона его объема представляет собой следующее выражение:

$$k_v = \frac{W \cdot \rho^{0.5}}{V_c^{2/3} \cdot \Delta P^{0.5}}. \quad (2)$$

Другая комбинация при выборе в качестве характерного размера салона величины площади всех ограждающих салон панелей выглядит следующим образом:

$$k_F = \frac{W \cdot \rho^{0.5}}{F_k \cdot \Delta P^{0.5}}. \quad (3)$$

Безразмерную комбинацию величин (2) обозначим символом  $K_v$  и назовем её *степенью герметичности (объемной)*, а безразмерную комбинацию величин 3 - символом  $K_F$  и назовем её *степенью герметичности (поверхностной)*.

Если проанализировать выражение (2), представляющее собой степень герметичности (объемную), то первый член его числителя является величиной объемного расхода воздуха, подаваемого в салон, а первый член знаменателя – корнем кубическим из величины внутреннего объема салона, возведенной во вторую степень; отношение же этих величин представляет собой определенную долю кратности воздухообмена салона автомобиля. Поэтому физический смысл выражения (2) заключается в том, что оно оценивает ту часть воздуха, выраженную в долях кратности воздухообмена, которая приходится на одну единицу величины давления, поддерживаемого в салоне при данном расходе воздуха.

Если с выражением (3) провести следующие преобразования:

$$k_F = \frac{W \cdot \sqrt{\rho}}{F_k \cdot \sqrt{\Delta P}} = \sqrt{2} \frac{W}{F_k \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}} = \sqrt{2} \cdot \frac{W}{W_T}, \quad (4)$$

где  $W_T$  теоретически возможный воздухообмен, то из полученного выражения видно, что степень герметичности (поверхностная) представляет собой отношение действительного количества воздуха, выходящего из салона через неплотности под действием перепада давления  $\Delta P$ , к теоретически возможному количеству воздуха, которое могло бы проходить через площадь, равную сумме площадей всех панелей, ограждающих салон, под действием перепада давления, равного  $\Delta P$ , при полном отсутствии какого-либо гидравлического сопротивления данному движению. Отношение действительного количества воздуха, проходящего через какое-либо сопротивление, к теоретически возможному количеству воздуха, проходящего при полном отсутствии сопротивления, представляет собой коэффициент расхода воздуха через данное сопротивление [3]. Поэтому физический смысл степени герметичности (поверхностной) равноценен физическому смыслу коэффициента расхода воздуха, проходящего через сечение, равное площади всех поверхностей кузова автомобиля, под действием перепада давления, равного  $\Delta P$ .

Оба полученные коэффициента, позволяют сравнивать между собой герметичность кузовов различных автомобилей. Оба коэффициента несут много информации о герметичности автомобилей и потому будут полезны в качестве сравнительной оценки герметичности различных автомобилей.

### Понятие эффективной площади неплотности

Для получения более полного представления о сущности оценочных критериев герметичности салонов автомобилей раскроем значение величины воздухообмена. Будем считать при этом, что воздух несжимаем. Учитывая, что герметичность салона автомобиля определяют на неподвижном автомобиле, примем, что давление снаружи на все части кузова одинаковое. Давление по всему салону внутри него также будем считать одинаковым.

Для определения величины воздухообмена воспользуемся общеизвестным уравнением, описывающим расход жидкости или газа через какое-либо отверстие, в том числе и через неплотность [3]:

$$W_i = \mu_i \cdot F_i \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (5)$$

где  $W_i$  – воздухообмен через отдельную неплотность;  $\mu_i$  – коэффициент расхода воздуха через неплотность;  $F_i$  – площадь отдельной неплотности.

На основе (5) для кузова автомобиля, имеющего обычно большое количество отверстий и неплотностей, суммарный расход воздуха через них можно описать следующим образом:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \cdot \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot F_i, \quad (6)$$

где  $n$  – количество отверстий и неплотностей.

Если в выражениях (2) и (3) с помощью уравнения (6) раскрыть значение величины расхода воздуха, подаваемого в салон, и провести с ними следующие преобразования:

$$k_v = \frac{W \cdot \sqrt{\rho}}{V^{2/3} \cdot \sqrt{\Delta P}} = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot F_i}{V^{2/3} \cdot \sqrt{\Delta P}} = \sqrt{2} \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot F_i}{V_c^{2/3}}, \quad (7)$$

$$k_F = \frac{W \cdot \sqrt{\rho}}{F_K \cdot \sqrt{\Delta P}} = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot F_i}{F_K \cdot \sqrt{\Delta P}} = \sqrt{2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot F_i}{F_k}, \quad (8)$$

то из полученных выражений видно, что в знаменателе обоих коэффициентов находится член, характеризующий величину салона, а числителем является сумма произведений величины каждой площади неплотности кузова на величину коэффициента расхода через неё воздуха. Рассмотрим физический смысл суммы данных произведений.

Коэффициент расхода воздуха  $\mu$ , входящий в произведение  $\mu \cdot F$ , представляет собой известное отношение [3]:

$$\mu = \frac{W}{W_T}, \quad (9)$$

показывающее, какая часть от того теоретически возможного количества воздуха, которое могло бы проходить через отверстие, если бы не было гидравлических потерь, действительно через него проходит. Отсюда произведение площади отверстия на коэффициент расхода че-

рез него воздуха представляет собой ту часть его площади, которой было бы достаточно для прохождения, поступившего через данное отверстие воздуха, если бы он проходил без гидравлических потерь, то есть он показывает, насколько эффективно используется площадь отверстия для прохождения воздуха.

Соответственно, сумма произведений каждой площади неплотности на коэффициенты расхода через неё воздуха представляет собой ту часть суммарной площади всех неплотностей кузова, через которые мог бы пройти весь воздух, если бы он проходил через них без потерь. Поэтому произведение  $\mu \cdot F$  можно назвать *эффективной площадью отверстия или неплотности*, а сумму этих произведений  $\sum \mu \cdot F$  для кузова автомобиля – *суммарной эффективной площадью неплотностей* [4].

Величину суммарной эффективной площади неплотностей можно использовать в качестве критерия, позволяющего оценивать величину общей герметичности кузова автомобиля, так как её значение достаточно полно характеризует величину неплотностей кузова. Отношение этой величины к величине внутреннего объёма салона или к величине площади всех ограждающих салон панелей, как это следует из выражений (7) и (8), позволяет получить сравнительную объективную оценку степени герметичности кузова автомобиля.

В странах с развитой автомобильной промышленностью для оценки герметичности кузовов нашло применение понятие эффективной площади эквивалентного сечения неплотностей кузова. Если сравнить данное понятие с предлагаемым понятием эффективной площади неплотностей, то выясняется, что они равнозначны. Однако понятие эффективной площади неплотностей кузова более полно отражает физическую сущность движения через них воздуха, поэтому привлекать для него менее понятное название эквивалентного сечения, по-видимому, не имеет смысла.

Сравнительные оценки герметичности кузовов необходимо получать при фиксированных значениях внутреннего давления. Так, при сравнении между собой герметичности кузовов различных автомобилей можно рекомендовать для получения величины степени герметичности кузова давление в салоне, равное 150 Па. В пользу данной величины свидетельствует тот факт, что такого давления в салоне при экспериментальных исследованиях можно достаточно легко достичь даже в не очень герметичном кузове автомобиля. Значение коэффициента расхода воздуха при данном значении перепада давления, как показывают экспериментальные исследования, практически у всех неплотностей является почти постоянной величиной, очень мало изменяющейся при дальнейшем увеличении давления в салоне.

### **Экспериментальное определение величины эффективных площадей неплотностей кузовов автомобилей**

Согласно уравнениям (5) и (6) для оценки воздухообмена через любые отверстия, в том числе и через неплотности, необходимо иметь значения их площадей, коэффициентов расхода воздуха, перепадов давлений и плотности воздуха. Так как величины перепадов давлений и плотности воздуха обычно задаются исходя из условий стоящей задачи, то при расчёте воздухообмена через неплотности кузова автомобиля неизвестными величинами являются площади неплотностей и коэффициенты расходов через них воздуха. Теоретическое определение значений данных величин в настоящее время невозможно. Причём определение значений каждой из этих двух величин по отдельности для большинства неплотностей даже экспериментальными методами является чаще всего не решаемой задачей. Однако значения произведения этих величин, которое является ни чем иным, как эффективной площадью неплотности, определяется очень легко. Для этого достаточно использовать следующее уравнение, полученное из уравнения (5):

$$\mu_i \cdot F_i = \frac{W_i}{\sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_i}{\rho}}} \quad (10)$$

Уравнение для определения суммарной величины эффективных площадей всех неплотностей кузова, полученное из уравнения (6), выглядит следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot F_i = \frac{W_i}{\sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_i}{\rho}}} . \quad (11)$$

Как видно из уравнений (10) и (11), экспериментальное определение величин эффективной площади отдельных неплотностей и суммарной величины эффективных площадей всех неплотностей кузова не представляет особых трудностей. Для этого необходимо с определённым расходом осуществить подачу воздуха в салон, измерить возникший при этом подпор давления и расчетным путем определить величину суммарной эффективной площади неплотностей.

Величина эффективной площади отверстия не зависит от значений физических параметров воздуха, однако от изменений перепада давлений имеет определённую зависимость. При малых значениях перепада давления при его возрастании значение эффективной площади также возрастает, причём очень быстро. Но после превышения величины перепада давления определённого значения, конкретного для каждого отверстия или неплотности, величина эффективной площади становится постоянной, не изменяющей своего значения при дальнейшем возрастании значений перепадов давлений.

#### **Оценка минимально необходимой герметичности кузовов автомобилей**

Возможность проводить расчет воздухообмена через неплотности позволяет провести оценку той минимальной герметичности, которой должен обладать кузов автомобиля, чтобы в нем можно было создать комфортные условия для человека. Для этого необходимо, воспользовавшись уравнением (11), подставить в него значение максимального воздухообмена, который должна обеспечивать вентиляционная система автомобиля, и величину подпора давления, которую необходимо поддерживать в салоне. В результате будет получено то значение суммарной величины эффективных площадей всех неплотностей кузова, превышение которой на реальном автомобиле не позволит его вентиляционной системе поддерживать в салоне запроектированное давление.

В табл. 1 даны результаты проведенных автором подобных расчётов для различных моделей автомобилей. При этом в качестве допустимого взят воздухообмен для легкового автомобиля малого класса, равный 500 м<sup>3</sup>/ч [5], для легкового автомобиля среднего класса – равный 600 м<sup>3</sup>/ч, для автобуса, имеющего два ряда двухместных сидений и высоту потолка в пределах 1900 – 2000 мм, равный – 2000 м<sup>3</sup>/ч, для кабины грузового автомобиля – равный 300 м<sup>3</sup>/ч.

В качестве предельного взят воздухообмен для легкового автомобиля малого класса, равный 1000 м<sup>3</sup>/ч, для легкового автомобиля среднего класса – равный 1200 м<sup>3</sup>/ч, для автобуса равный – 4000 м<sup>3</sup>/ч, для кабины грузового автомобиля – равный 600 м<sup>3</sup>/ч. В качестве величины внутреннего давления в салоне автомобиля выбран подпор давления, равный 150 Па. Данная величина подпора выбрана исходя из того, что такой подпор является вполне реальной, уже достигаемой величиной (Мерседес-Бенс 260Е) и при нем может быть обеспечена защита салона от проникновения, например, через неплотности днища, задней и нижней части боковых панелей автомобиля, вредных веществ до скоростей движения, превышающих 180 км/ч.

Для сравнения значений расчётных величин (табл. 1) с реально существующими величинами суммарных эффективных площадей неплотностей и вытяжных лючков на современных автомобилях в табл. 2 приведены экспериментально определенные автором значения суммарных эффективных площадей неплотностей и вытяжных лючков при подпоре давления в салоне, равном 150 Па. Кроме того, даны значения производительности вентиляцион-

ных установок и подпоров давления в салоне, создаваемого вентиляционными установками некоторых отечественных и зарубежных автомобилей на стоянке.

Таблица 1

**Максимально допустимые и предельные значения суммарных площадей неплотностей и вытяжных отверстий, см<sup>2</sup>**

	Воздухообмен	Легковой автомобиль малого класса	Легковой автомобиль среднего класса	Автобус	Грузовой автомобиль
2	Допустимый	90	108	360	45
3	Предельный	180	216	720	90

Таблица 2

**Суммарные эффективные площади неплотностей и вытяжных лючков при подпоре давления, равном, 150 Па, производительность вентиляционной установки и подпор давления в салоне на стоянке**

	Марка автомобиля	Сумма эффективных площадей неплотностей и вытяжных лючков, см <sup>2</sup>	Производительность вентиляционной установки, м <sup>3</sup> /ч	Подпор давления в салоне, Па
2	МЕРСЕДЕС-БЕНС 260 Е	100±7	570±28	150
3	ФОРД-СКОРПИО	100±7	510±25	125
4	АУДИ-200	112±8	450±22	80
5	ГАЗ-3102	136±11	290±15	20
6	ГАЗ-3105	150±14	450±22	40
7	УАЗ-3151 (УАЗ-469)	196±19	200±10	5-10
8	УАЗ-39621 (санитарный)	236±24	в кабине 280 в салоне 210	20
9	ГАЗ-3307	66±3,5	200±10	40
1	ГАЗ-3302	95±7	320±16	50
1	Кав3-3270	342±35	-	-

Сравнение данных, приведенных в табл. 1 и 2, показывает, что у легковых автомобилей Мерседес-Бенс 260Е и Форд-Скорпио сумма величин эффективных площадей неплотностей вместе с величинами площадей вытяжных проемов обеспечивают высокий подпор давлений в салоне даже при величине воздухообмена меньше допустимого. При допустимой величине воздухообмена значение подпора давления в салоне этих автомобилей будет явно выше 150 Па. На автомобиле Ауди-200 сумма величин эффективных площадей неплотностей и вытяжных лючков несколько превышает допустимую величину суммарных эффективных площадей неплотностей и вытяжных лючков, приведенную в табл. 1. Соответственно, величина воздухообмена в 450 м<sup>3</sup>/ч, создаваемая его вентиляционной системой на стоянке, позволяет поддерживать подпор давления в салоне хотя и достаточно высокий, но все же на уровне только в 80 Па. Во всех остальных автомобилях величины суммарных эффективных площадей неплотностей их кузовов намного ниже допустимых, приведенных в табл. 1, соот-

ветственно, подпоры давлений, создаваемых в их салонах вентиляционными системами, далеки по величине от необходимых значений.

Приведённые примеры наглядно показывают, насколько существенные результаты можно получить при использовании понятия эффективной площади отверстий и неплотностей кузова автомобиля.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ - 24054 - 80. Методы испытаний на герметичность. Общие требования. – М.: Госкомитет СССР по стандартам: Издательство стандартов, 1982.
2. **Палутин, Ю.И.** Способ определения степени герметичности изделий / Ю. И. Палутин [и др.]. Авторское свидетельство СССР N 1796949 G 01 M 3/26 от 8.10.92 г.
3. **Идельчик, И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е.Идельчик. М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
4. Пат. РФ RU N 2042108 Способ измерения величин площадей неплотностей / Палутин Ю. И. С1 6 G 01 B 13/20; опубл. 16.02.1993.
5. **Палутин, Ю.И.** Требуемый воздухообмен салона автомобиля. Улучшение технико-эксплуатационных показателей мобильной техники / Ю.И. Палутин [и др.] // Материалы 13-й научно-практической конференции вузов Поволжья и Предуралья. Нижний Новгород, 2003. С. 195–198.

*Дата поступления  
в редакцию 25.04.2011*

**Yu. I. Palutin**

#### **CRITERION OF HERMETIC AUTOMOBILE BODIES**

This article shows two criteria helping estimate hermetic bodies of different automobiles. It also introduces the determination “effective space of incompactness” and lists the possible levels of hermetic bodies.

*Key words:* criteria of hermetic automobile bodies; effective space of incompactness; possible levels of hermetic bodies.