

УДК 629.01

Ю.И. Палутин

КРИТЕРИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЕЙ

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Проведена оценка критериев подобия необходимых для использования при анализе вентиляционных систем автомобиля. Показано, что основными критериями являются *число Рейнольдса* и *число Эйлера*, а также их комбинации. Доказано, что основным критерием подобия в случае поворота струи при ее входе в вентиляционный проем движущегося автомобиля является *число Эйлера*.

Ключевые слова: автомобиль, вентиляция салона, гидравлические сопротивления, число Рейнольдса, число Эйлера.

Правильный подбор безразмерных комбинаций в качестве критериев динамического подобия зависит, как известно, от полноты подбора физических величин, являющихся определяющими в рассматриваемом процессе. Определяющими величинами при движении воздуха через вентиляционные проемы, расположенные на поверхности кузова автомобиля, будут в первую очередь продольные и поперечные размеры проемов, перепады давлений по обе стороны проемов, плотность и динамическая вязкость воздуха и величина скорости невозмущенного потока. Кроме того, к ним следует отнести характерный размер автомобиля, в качестве которого выберем длину автомобиля, координаты вентиляционных проемов и угол натекания воздушных потоков.

Для линейных определяющих величин безразмерными комбинациями следует рассматривать следующие отношения:

$$b/l; x/L_a; y/L_a; z/L_a, \quad (1)$$

где b, l – линейные размеры вентиляционного проема; x, y, z – текущие координаты; L_a – продольные размеры автомобиля.

Эти безразмерные величины для каждого конкретного автомобиля являются строго определенными и фиксированными. К фиксированным величинам отнесем и угол натекания потока.

Следующие безразмерные комбинации будем искать, исходя из оставшихся шести определяющих величин:

$$V_\infty; \Delta P; \rho; \mu_0; L_a; I. \quad (2)$$

где V_∞ – скорость невозмущенного потока; ΔP – перепад между наружным и внутренним давлением; ρ – плотность воздуха; μ_0 – динамическая вязкость воздуха.

Воспользуемся для решения задачи поиска безразмерных комбинаций π -теоремой [1] теории размерностей. Перебрав с ее помощью все возможные сочетания из определяющих величин, выберем и рассмотрим следующие комбинации безразмерных величин:

$$\frac{V_\infty \rho_\infty L_a}{\mu_{0(\infty)}}; \quad (3)$$

$$\frac{V_\infty \rho_\infty I}{\mu_{0(\infty)}}; \quad (4)$$

$$\frac{\Delta P \rho_{\infty} l^2}{\mu_{0(\infty)}^2}; \quad (5)$$

$$\frac{\Delta P \rho_{\infty} L_a^2}{\mu_{0(\infty)}^2}; \quad (6)$$

$$\frac{\Delta P}{V_{\infty}^2 \rho_{\infty}}; \quad (7)$$

$$\frac{\Delta P l}{V_{\infty} \mu_{0(\infty)}}; \quad (8)$$

$$\frac{\Delta P L_a}{V_{\infty} \mu_{0(\infty)}}. \quad (9)$$

Проанализируем полученные комбинации.

Безразмерная группа (3):

$$\frac{V_{\infty} \rho_{\infty} L_a}{\mu_{0(\infty)}} = R_{e(L_a)}, \quad (10)$$

представляет собой не что иное, как *число Рейнольдса*, определяемое по параметрам внешнего воздушного потока и длине автомобиля. Данный широко известный критерий, позволяет оценить характер обтекания автомобиля внешними воздушными потоками. Поэтому его явно целесообразно использовать при проведении аэродинамических расчетов вентиляционных систем автомобилей.

Безразмерная комбинация (4) также представляет собой *число Рейнольдса*, только определенное по длине вентиляционного проема и по параметрам внешнего воздушного потока. Данная комбинация не несет необходимой информации и поэтому ее использование нецелесообразно.

Если в безразмерной комбинации величин (5) выразить величину перепада давления по обе стороны вентиляционного проема через теоретически возможную скорость движения через него воздуха при данном перепаде давления, то есть ту скорость, которая возникла бы при отсутствии гидравлических сопротивлений в данном проеме, и осуществить следующие преобразования:

$$\frac{\Delta P \rho_{\infty} l^2}{\mu_{0(\infty)}^2} = \frac{V_T^2 \rho_{\infty}^2 l^2}{2 \mu_{0(\infty)}^2} = \frac{1}{2} R_{e(l;T)}^2, \quad (11)$$

то становится видно, что она представляет собой *число Рейнольдса* во второй степени, определенное по теоретически возможной, при отсутствии гидравлических сопротивлений, скорости движения воздуха через проем под действием перепада давления, равного ΔP , и длине вентиляционного проема. То есть безразмерная комбинация величин (5) характеризует процесс протекания воздуха через вентиляционные проемы автомобиля и потому ее использование целесообразно.

По поводу «числа Рейнольдса», определяемого по теоретически возможной скорости движения воздуха через отверстие, необходимо отметить следующее. В практической гидродинамике и гидравлике принято рассматривать изменение коэффициентов гидравлических сопротивлений в функции изменения *чисел Рейнольдса*, определяемых по средней фактической скорости движения вязкого потока через сопротивление. Это вполне объяснимо, так как в большинстве решаемых практических задач задаются обычно или расходы, или сопротивления и по ним уже высчитываются те перепады давления, которые необходимо создать, чтобы обеспечить преодоление данного сопротивления при данном расходе. То есть определяющими величинами во всех этих задачах выступает величина расхода, требуемый же перепад давления, а значит, и теоретически возможная величина скорости движения являются определяемыми параметрами.

В случае расчета воздухообмена через вентиляционные проемы автомобиля задаваемой, а значит, и определяющей величиной, является перепад давлений по обе их стороны, то есть в этом случае теоретически возможная скорость движения воздуха становится величиной определяющей. Величина же расхода воздуха, а значит, и средняя по расходу скорость являются определяемыми величинами. Поэтому при решении задач движения воздуха через вентиляционные проемы изменения величин коэффициентов расхода воздуха и коэффициентов гидравлических сопротивлений следует рассматривать именно в функции изменения безразмерной комбинации (5).

В связи с изложенным хотелось бы пожелать, чтобы во всей справочной литературе, в которой приводятся графики изменения коэффициентов гидравлических сопротивлений и коэффициентов расхода воздуха, они приводились бы одновременно и в функции изменения числа Рейнольдса, определяемого по средней скорости расхода и в функции изменения числа Рейнольдса, определяемого по теоретически возможной скорости движения жидкости или газа. Такие графики можно приводить двух видов. Например, в виде одного графика, в этом случае должны приводиться две параллельные координатные оси - одна для числа Рейнольдса, определяемого через среднюю по расходу скорости, другая - для числа Рейнольдса, вычисляемого по теоретически возможной скорости движения. Другим видом зависимости может быть изображение в виде двух графиков при одинаковых координатных осях.

В любом случае зависимость между числом Рейнольдса, определяемым через теоретически возможную скорость движения воздуха и числом Рейнольдса, определяемым через среднюю по расходу скорости движения, находится с помощью следующего аналитического выражения:

$$R_{e(T)} = \zeta^{0.5} R_e ; \quad (12)$$

или через выражение:

$$R_{e(T)} = \mu^{-1} R_e . \quad (13)$$

Если с безразмерной комбинацией величин (6) провести преобразования, подобные тем, которые были проведены с комбинацией величин (5), то выяснится, что она представляет собой число Рейнольдса во второй степени, определяемое по теоретически возможной скорости движения воздуха через проем и по длине автомобиля. Такая комбинация видимой практической ценности не имеет и поэтому ее применение нецелесообразно.

Безразмерная комбинация величин (7)

$$\frac{\Delta P}{V_\infty^2 \rho_\infty} = E_u , \quad (14)$$

представляет собой широко известный критерий подобия, имеющий название *число Эйлера*. Для более полного представления о комбинации величин (7) выразим ее в другом виде. Раскроем для этого в ней величину перепада давлений и осуществим с ней следующие преобразования:

$$\frac{\Delta P}{V_\infty^2 \rho_\infty} = \frac{(P_i - P_{вн.})}{V_\infty^2 \rho_\infty} = \frac{2[(P_i - P_\infty) - (P_{вн.} - P_\infty)]}{2V_\infty^2 \rho_\infty} = \frac{1}{2} \Delta \bar{P} . \quad (15)$$

Из полученного выражения видно, что критерий подобия *число Эйлера* можно представить в виде разности величин аэродинамических коэффициентов давлений по обе стороны вентиляционного проема. В работах [2, 3, 4] показано, что использование разности аэродинамических коэффициентов давления очень удобно при описании изменений коэффициентов гидравлических сопротивлений движению воздуха через вентиляционные проемы, расположенные на поверхности кузова автомобиля.

Безразмерную комбинацию величин (7) можно также представить и в другом виде. Выразим для этого величину разности давления по обе стороны вентиляционного проема че-

рез величину теоретически возможной скорости движения воздуха через этот вентиляционный проем под действием данного перепада давления и проведем следующие преобразования:

$$E_u = \frac{\Delta P}{V_\infty^2 \rho_\infty} = \frac{\rho_\infty V_{ex}(T)^2}{2 \rho_\infty v_\infty^2} = \frac{1}{2} \left(\frac{V_{ex}(T)}{V_\infty} \right)^2. \quad (16)$$

Из полученного выражения видно, что безразмерную комбинацию (7), представляющей собой *число Эйлера*, можно выразить и через отношение величин теоретически возможной скорости движения воздуха через отверстие к скорости невозмущенного потока. Эффективность использования отношения величин скорости невозмущенного потока к скорости движения воздуха через отверстие показано в работе [5], в которой рассматривается характер движение воздуха через различные отверстия в тонкой стенке, при наличии с одной ее стороны внешнего воздушного потока.

В общей аэродинамике считается, что гидродинамический критерий подобия *число Эйлера* является значимым только при скоростях движения воздуха, близких к скорости звука, когда воздух становится сжимаемым [6]. Настоящая работа доказывает, что при оценке поворота струи, когда на движущийся поток воздействует перепад давления, изменяющий его траекторию движения, критерий подобия *число Эйлера* становится определяющим и в несжимаемой жидкости при малых скоростях ее движения.

Таким образом, выражение (7) в виде выражений (15) и (16) нашло уже практическое применение при решении вопросов вентиляции, поэтому будем считать его использование целесообразным.

Для того чтобы разобраться, что представляет собой безразмерная комбинация (8), проведем с ней следующие преобразования:

$$\frac{\Delta P l}{V_\infty^0 \mu_{0(\infty)}} = \left(\frac{\rho_\infty \Delta P^2 l^2}{\rho_\infty V_\infty^2 (\mu_{0(\infty)})^2} \right)^{0.5} = \left[E_u \frac{1}{2} R_{e(l;T)}^2 \right]^{0.5} = \left(\frac{1}{2} E_u \right)^{0.5} R_{e(l;T)}. \quad (17)$$

Из полученного выражения видно, что выражение (8) представляет собой комбинацию известных критериев подобия: *числа Рейнольдса* и *числа Эйлера*. Таким образом, выражение (17) показывает, что безразмерная комбинация величин (8) оценивает процессы протекания воздуха сквозь вентиляционные проемы и через *число Рейнольдса*, и одновременно оценивает влияние внешнего воздушного потока на внутренний поток через соотношение их скоростей или *число Эйлера*. Поэтому ясно, что данный критерий должен быть использован при оценке гидравлических сопротивлений протеканию через них воздуха в присутствии внешнего воздушного потока, движущегося снаружи кузова автомобиля.

Если с безразмерной комбинацией (9) проделать те же преобразования, что и с безразмерной комбинацией (8), то будет выявлено, что она представляет собой произведение безразмерных комбинаций (6) и (7). Однако, как уже показано ранее, безразмерная комбинация (6) не несет важной смысловой информации, поэтому применение комбинации (9) можно считать нецелесообразным.

Таким образом, для описания изменений гидравлических сопротивлений движению через них воздуха имеет смысл использовать четыре безразмерные комбинации - (3), (5), (7) и (8):

$$\frac{V_\infty \rho_\infty L_a}{\mu_{0(\infty)}}; \frac{\Delta P \rho_\infty l^2}{\mu_{0(\infty)}^2}; \frac{\Delta P}{V_\infty^2 \rho_\infty}; \frac{\Delta P l}{V_\infty \mu_{0(\infty)}}. \quad (18)$$

Данные комбинации величин полностью характеризуют движение воздуха через любые отверстия, в том числе и в присутствии с одной из сторон внешнего воздушного потока, и поэтому их использование позволит значительно облегчить решение задач, связанных с проблемами вентиляции салонов автомобилей.

Библиографический список

1. **Альштуль, А.Д.** Гидравлика и аэродинамика / А. Д. Альштуль, П. Г. Киселёв. – М.: Стройиздат, 1965. – 414 с.
2. **Иванусь, Е. М.** Исследование естественной вентиляции салонов автобусов: автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Минск, 1971. – 35 с.
3. **Палутин, Ю. И.** Метод расчёта воздухообмена в салоне автобуса // Автомобильная промышленность. 1976. № 11. С. 26-27.
4. **Парфёнов, В.Н.** Разработка методов расчёта аэродинамического сопротивления движению и воздухообмена в салоне автобуса с кузовом вагонного типа: автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1984. – 32 с.
5. **Ханжонков, В. И.** Сопротивление истечению через отверстие в стенке в присутствии проходящего потока // Промышленная аэродинамика. 1959. Вып. 15. С. 5-12.
6. **Абрамович, Г.Н.** Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. – М.: Наука, 1969. – 824 с.

*Дата поступления
в редакцию 02.04.2010*

Yu.I. Palutin

CRITERIA OF HYDRODYNAMIC SIMILARITY IN THE ESTIMATION OF VENT AUTOMOBILE SYSTEMS

The estimation of similarity criteria that are necessary for ventilator automobile systems analysis is carried out. It is shown that the main criteria are “number Euler” and “number Reynolds” and their combination. It is proved that the main criterion in the case of stream turn by its entrance in the ventilator embrasure of the moving automobile is “the number Euler”.

Key words: automobile, salon ventilation, hydraulic resistance, “number Euler”, “number Reynolds”.