

УДК 629.113

DOI 10.18698/0536-1044-2016-2-36-41

Роль решетки радиатора в организации подачи воздуха для системы охлаждения двигателя

А.П. Петров

ФГОУ ВПО Курганский государственный университет, 640669, Курган, Российская Федерация, Гоголя ул., д. 25, стр. 1

The Role of the Radiator Grille in the Organization of Air Supply to the Engine Cooling System

A.P. Petrov

Kurgan State University — Federal State Educational Institution of Higher Professional Education, 640669, Kurgan, Russian Federation, Gogol St., Bldg. 25, Block 1



e-mail: alex_p2@mail.ru

i Обеспечение поступления воздуха через радиатор в систему охлаждения двигателя внутреннего сгорания, кондиционер и другие устройства легкового автомобиля — основная функция решетки радиатора, вследствие чего к ней предъявляются определенные требования. Исследовано влияние конструктивных параметров решетки радиатора (воздухозаборных отверстий) на расход воздуха через воздушный тракт системы охлаждения двигателя. Оценена роль решетки радиатора в организации подачи воздуха для работы системы охлаждения двигателя. Определены основные факторы, влияющие на расход воздуха, и исследован механизм этого явления с использованием численных методов программного модуля Computational Fluid Dynamics (CFD). Установлено, что расход воздуха через воздухозаборные отверстия зависит от площади их проходного сечения, а также от их местоположения, связанного с давлением «набегающего» воздуха в этой зоне, и угла входа воздуха в отверстия.

Ключевые слова: решетка радиатора, воздухозаборное отверстие, расход воздуха, система охлаждения.

i The main function of the radiator grille in a vehicle is to provide supply of air to the cooling system of the internal combustion engine, air conditioner, and other units of the vehicle. Therefore, it must meet certain requirements. In this article the authors consider the influence of the design parameters of the radiator grille (air inlets) on the air flow through the air path of the engine cooling system. The role of the radiator grille in the organization of air supply to the cooling system is assessed. The main factors affecting the air flow are identified, and the mechanism of this phenomenon is investigated using numerical methods of the Computational Fluid Dynamics (CFD) software. It has been established that the air flow through the air inlets depends on the flow section as well as on the inlet location, which is associated with the pressure of the oncoming air in this area, and on the air inlet angle.

Keywords: radiator grille, air intake, air flow, cooling system.

В настоящее время среди ученых нет единого мнения о влиянии воздухозаборных отверстий решетки радиатора на аэродинамическое сопротивление автомобиля и организацию воздушного потока через подкапотное простран-

ство легкового автомобиля. Отмечается, что в зависимости от конструктивных особенностей решетки радиатора она может характеризоваться коэффициентом аэродинамического сопротивления c_x [1]. При этом смешиваются по-

нения коэффициентов аэродинамического сопротивления c_x и местного сопротивления ζ решетки. Рассматриваются различные комбинации и конструкции воздухозаборных отверстий, но их роль и механизм протекания потока воздуха через них в полной мере не исследованы [2–7].

Для обеспечения работы системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, кондиционера и других устройств легкового автомобиля необходимо большое количество охлаждающего воздуха. Однако нельзя допускать его избыточного поступления, поскольку это приведет к увеличению аэродинамического сопротивления автомобиля [7–10]. В этом случае при использовании «набегающего» потока заданное количество воздуха определяется воздухозаборными отверстиями. Поэтому необходимо исследовать механизм взаимодействия воздухозаборных отверстий с «набегающим» потоком, а также определить параметры, влияющие на организацию движения воздуха через воздушный тракт системы охлаждения.

Воздухозаборные отверстия являются элементами дизайна, фирменного стиля, защиты радиатора и обеспечения равномерного распределения охлаждающего воздуха по поверхности радиатора, а также «диафрагмой», регулирующей поступление воздуха.

Исследования касались в большей степени верхних воздухозаборных отверстий, конструкция и расположение которых отличаются большим разнообразием, а механизм их взаимодействия с «набегающим» потоком — сложностью. Моделирование проводилось с помощью программного комплекса Computational Fluid Dynamics (CFD), предназначенного для решения задач аэро- и гидродинамики.

Поскольку автомобиль имеет сложную геометрическую форму, использовать его модель для решения поставленной задачи нерацionalmente. В качестве объекта исследования применялась модель простой геометрической формы [10]. Главным объектом модели являлся обтекатель, имитировавший переднюю панель автомобиля и имевший предельно простую форму для исключения всех побочных факторов, влияющих на забор «набегающего» потока воздуха. Моделировалось верхнее воздухозаборное отверстие, расположенное выше линии разделения двух потоков (линии полного торможения). Панель, на которой располагалось воздухозаборное отверстие, имела тон-

кую стенку для исключения влияния на проходное сечение отверстия при наклоне панели.

Воздухозаборные отверстия и модель в целом имели размеры, сопоставимые с реальными, характерными для легкового автомобиля среднего класса. Воздушный тракт внутри модели имел заданное сопротивление. Исследования проводились при скорости движения модели 41,7 м/с.

Результаты исследования влияния угла наклона панели β , на которой расположено воздухозаборное отверстие, на расход воздуха G приведены на рис. 1. Особенностью проведенного эксперимента являлось то, что при изменении угла наклона панели профильная проекция воздухозаборного отверстия не менялась. Это достигалось изменением высоты воздухозаборного отверстия, т. е. его проходное сечение менялось. Как видно из рис. 1 (кривая 1), при увеличении угла наклона панели β расход воздуха G уменьшается, хотя проходное сечение воздухозаборного отверстия увеличивается. Так, при $\beta = 45^\circ$ по отношению к $\beta = 90^\circ$ проходное сечение воздухозаборного отверстия увеличивается в 1,4 раза, а расход G снижается на 22 %. Это в первую очередь связано с давлением, которое возникает при обтекании панели.

Результаты исследования распределения давления по поверхности панели приведены на рис. 2, где по оси абсцисс отложено относительное расстояние от продольной оси модели l' , а по оси ординат — коэффициент давления c_p . Как видно из рис. 2, в зоне полного торможения на оси модели давление мак-

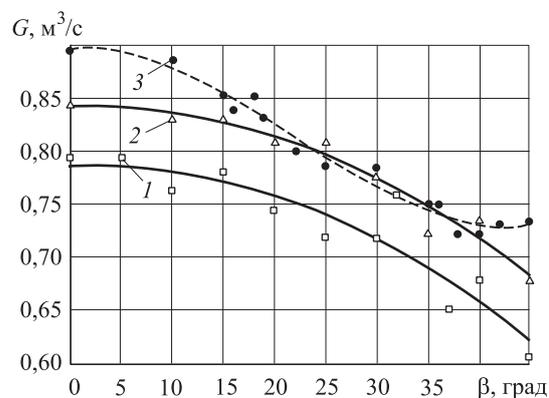


Рис. 1. Зависимость расхода воздуха G от угла наклона панели β :

- 1 — исходное положение воздухозаборного отверстия;
2 — отверстие смещено на 28 мм к линии полного торможения; 3 — воздухозаборное отверстие выполнено в виде решетки

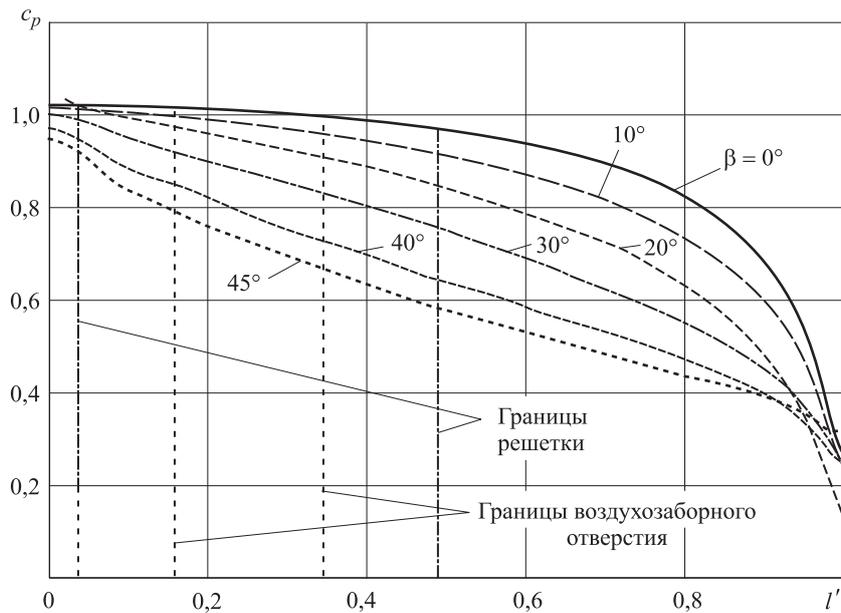


Рис. 2. Распределение давления в вертикальной плоскости на передней панели: l' — относительное расстояние от продольной оси модели; c_p — коэффициент давления

симальное, по мере удаления от оси оно снижается. В зависимости от угла наклона панели β давление меняется: чем больше угол наклона панели, тем меньше давление на ее поверхности. На рис. 2 обозначена проекция воздухозаборного отверстия на фронтальную плоскость. Наибольшее давление в зоне воздухозаборного отверстия наблюдается при вертикальном положении панели, в этом случае воздушный поток имеет максимальное торможение.

Результаты исследования влияния местоположения воздухозаборного отверстия на расход воздуха приведены на рис. 1 (кривая 2). Второе отверстие смещено вниз на 28 мм к линии полного торможения, что привело к заметному увеличению расхода воздуха, поскольку отверстие оказалось в зоне более высокого давления. Другие факторы практического влияния на прохождение воздуха не оказывают, поэтому кривые 1 и 2 параллельны.

В первых двух экспериментах площадь проходного сечения отверстия изменялась при разных углах наклона панели. В третьем эксперименте (см. рис. 1) проверялась возможность забора воздуха при постоянном проходном сечении воздухозаборного отверстия и условия сохранения границ его проекции в целях использования зоны давления, имеющей одну и ту же фронтальную проекцию. Выполнить такое условие можно в том случае, если вместо одного отверстия используется решетка, т. е. несколько маленьких отверстий, расположен-

ных рядами. На модели было выполнено 15×5 отверстий. Одинаковое положение профильной проекции верхней и нижней границы решетки при разных наклонах панели было достигнуто изменением шага между горизонтальными рядами отверстий. Суммарное проходное сечение всех отверстий было неизменным. На рис. 2 показаны проекции верхней (справа) и нижней (слева) границ решетки. Положение центра решетки совпадает с центром отверстия в первом эксперименте.

Результаты третьего эксперимента приведены на рис. 1 (кривая 3). Большой расход воздуха при малых углах наклона передней панели объясняется тем, что проходное сечение у решетки больше, чем у отверстий в первом и во втором экспериментах, а также тем, что нижняя граница решетки (см. рис. 2, граница слева) находится в зоне более высокого давления. При больших углах наклона панели расход воздуха уменьшается, поскольку на верхней границе решетки (см. рис. 2, граница справа), по сравнению с отверстием, давление существенно ниже.

Для оценки роли воздухозаборных отверстий в организации воздушного потока необходимо исследовать механизм прохождения воздушного потока через них. Следует выяснить, почему проходное сечение воздухозаборного отверстия — не единственный фактор, влияющий на расход воздуха через воздушный тракт системы охлаждения.

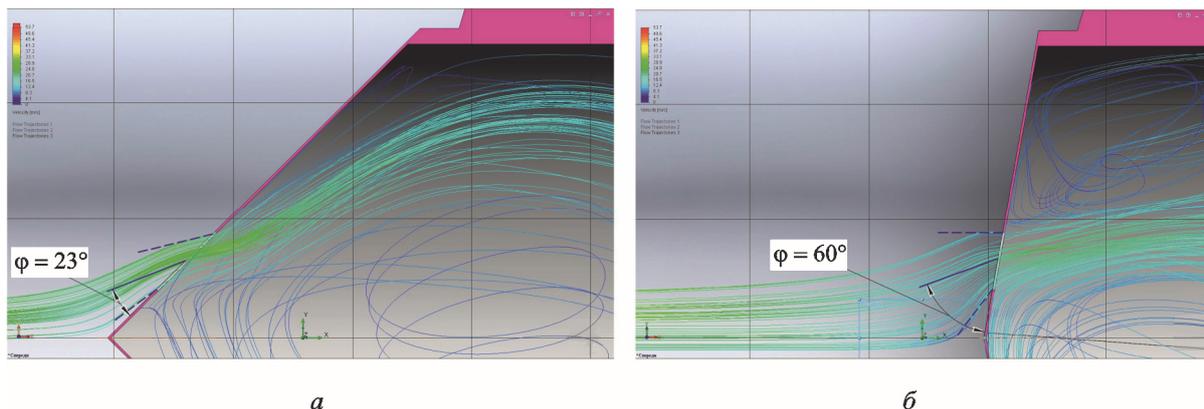


Рис. 3. Траектории течения потока воздуха через воздухозаборное отверстие при угле наклона панели: а — $\beta = 45^\circ$, б — $\beta = 85^\circ$

Поток воздуха, «набегающий» на переднюю панель, меняет направление и начинает двигаться вдоль поверхности, вытесняя поток, идущий выше, поэтому в воздухозаборное отверстие он входит под углом φ к поверхности. Чем больше угол наклона панели β , тем под более острым углом поток входил в воздухозаборное отверстие (рис. 3). Чем дальше расположено отверстие от линии полного торможения, тем более острый угол входа потока. Этот факт не следует рассматривать отдельно, поскольку природа такого явления и давление, возникающее на передней панели, связаны между собой.

Результаты исследования влияния площади проходного сечения воздухозаборного отверстия на расход воздуха приведены на рис. 4. Для исключения влияния побочных факторов выполнялись следующие условия. Воздухозаборное отверстие изготавливалось в форме решетки. Границы площади, которую она занимала, были постоянны, поэтому решетка располагалась в зоне одинакового давления. Проходное сечение варьировалось за счет размеров ячеек и перегородок между ними. Для исключения влияния профильного сечения ячеек их высота была постоянной, варьировалась только длина. Расчеты выполнены при угле наклона панели $\beta = 70^\circ$.

Как следует из рис. 4, при увеличении суммарного проходного сечения решетки расход воздуха повышается, а при достижении определенного уровня расход остается практически

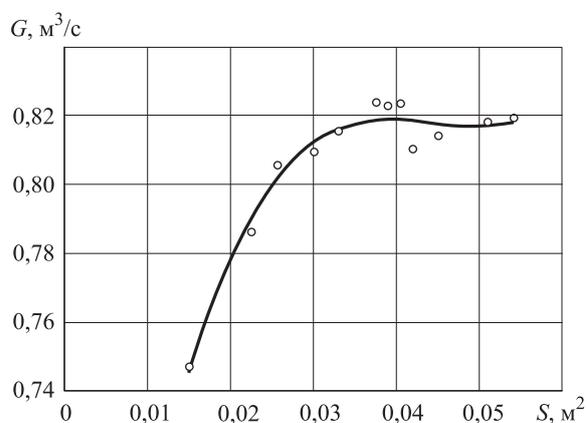


Рис. 4. Зависимость расхода воздуха G от площади воздухозаборного отверстия S

постоянным. Это типично для режима насыщения и связано с сопротивлением воздушного тракта.

Выводы

1. Воздухозаборные отверстия не могут характеризоваться коэффициентом аэродинамического сопротивления автомобиля c_x , поскольку они не оказывают прямого влияния на этот параметр.
2. Расход воздуха через воздухозаборные отверстия зависит от трех факторов: площади их проходного сечения, их местоположения, связанного с давлением «набегающего» воздуха в этой зоне, угла входа воздуха в эти отверстия.

Литература

- [1] Евграфов А.Н. *Аэродинамика автомобиля*. Москва, МГИУ, 2010. 356 с.
- [2] Williams J. Aerodynamic Drag of Engine-Cooling Airflow With External Interference. *SAE Technical Paper*, 2003, 2003-01-0996, doi: 10.4271/2003-01-0996.
- [3] Jama H., Watkins S., Dixon C., Ng E. Airflow Distribution through the Radiator of a Typical Australian Passenger Car. *15th Australasian Fluid Mechanics Conference the University of Sydney*, Sydney, Australia 13–17 December 2004.
- [4] D'Hondt M., Gilliéron P. Aerodynamic drag and flow rate through engine compartments of motor vehicles. *28th AIAA Applied Aerodynamics Conference*, 28 June–1 July 2010, Chicago, Illinois.
- [5] Yilmaz S., Erdogan K., Cırık H. Developing active closure system in the front grille of a motor vehicle. *7th Automotive Technologies Congress OTEKON'14*, May 26–27, 2014, Bursa.
- [6] D'Hondt M. *Etude theorique, experimentale et numerique de l'ecoulement de refroidissement et de ses effets sur l'aerodynamique automobile*. Engineering Sciences, Universite d'Orleans, 2010.
- [7] Гухо В.Г., ред. *Аэродинамика автомобиля*. Москва, Машиностроение, 1987. 424 с.
- [8] Петров А.П., Петров К.А. Взаимосвязь внутренней и внешней аэродинамики легкового автомобиля. *Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовки кадров: Мат. междунар. науч.-техн. конф. ААИ*, Москва, МГТУ «МАМИ», 2010, с. 250–257.
- [9] Петров А.П. Влияние внутренних потоков на аэродинамику легкового автомобиля. *Автотракторостроение-2009: Мат. междунар. симп.*, Москва, МГТУ «МАМИ», 2009, с. 235–245.
- [10] Петров А.П. Исследование механизма влияния внутренних потоков воздуха на общую аэродинамику автомобиля. *Известия Московского государственного технического университета МАМИ*, 2014, № 1(19), т. 1, с. 55–62.

References

- [1] Evgrafov A.N. *Aerodinamika avtomobilia* [The aerodynamics of the car]. Moscow, MGIU publ., 2010. 356 p.
- [2] Williams J. Aerodynamic Drag of Engine-Cooling Airflow With External Interference. *SAE Technical Paper*, 2003, 2003-01-0996, doi: 10.4271/2003-01-0996.
- [3] Jama H., Watkins S., Dixon C., Ng E. Airflow Distribution through the Radiator of a Typical Australian Passenger Car. *15th Australasian Fluid Mechanics Conference the University of Sydney*, Sydney, Australia 13–17 December 2004.
- [4] D'Hondt M., Gilliéron P., Devinant P. Aerodynamic drag and flow rate through engine compartments of motor vehicles. *28th AIAA Applied Aerodynamics Conference*, 28 June–1 July 2010, Chicago, Illinois.
- [5] Yilmaz S., Erdogan K., Cırık H. Developing active closure system in the front grille of a motor vehicle. *7th Automotive Technologies Congress OTEKON'14*, May 26 — 27, 2014, Bursa.
- [6] D'Hondt M. *Etude theorique, experimentale et numerique de l'ecoulement de refroidissement et de ses effets sur l'aerodynamique automobile*. Engineering Sciences, Universite d'Orleans, 2010.
- [7] *Aerodinamika avtomobilia* [The aerodynamics of the car]. Ed. Gukho V.G. Moscow, Mashinostroenie publ., 1987. 424 p.
- [8] Petrov A.P., Petrov K.A. Vzaimosviaz' vnutrennei i vneshnei aerodinamiki legkovogo avtomobilia [The relationship of internal and external aerodynamics of the car]. *Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiia i podgotovki kadrov: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii AAI* [Automobile and Tractor in Russia: Development Priorities and training: Materials of the international scientific conference AAI]. Moscow, MGTU «МАМИ» publ., 2010, pp. 250–257.
- [9] Petrov A.P. Vliianie vnutrennikh potokov na aerodinamiku legkovogo avtomobilia [The influence of internal threads on the aerodynamics of the car]. *Avtotraktorostroenie-2009: Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma* [Of tractor-2009: Proceedings of the International Symposium]. Moscow, MGTU «МАМИ» publ., 2009, pp. 235–245.

- [10] Petrov A.P. Issledovanie mekhanizma vliianiia vnutrennikh potokov vozdukha na obshchuiu aerodinamiku avtomobilia [Study of mechanism of influence of internal air flows on overall vehicle aerodynamics]. *Izvestiia Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI* [Proceedings of the Moscow State Technical University MAMI]. 2014, no. 1(19), vol. 1, pp. 55–62.

Статья поступила в редакцию 02.12.2015

Информация об авторе

ПЕТРОВ Александр Павлович (Курган) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили». ФГОУ ВПО Курганский государственный университет (640669, Курган, Российская Федерация, Гоголя ул., д. 25, стр. 1, e-mail: alex_p2@mail.ru).

Information about the author

PETROV Aleksandr Pavlovich (Kurgan) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Automobile Department. Kurgan State University — Federal State Educational Institution of Higher Professional Education (640669, Kurgan, Russian Federation, Gogol St., Bldg. 25, Block 1, e-mail: alex_p2@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла в свет монография
М.М. Жилейкина

«Теоретические основы повышения показателей устойчивости и управляемости колесных машин на базе методов нечеткой логики»

Управляемость и устойчивость автомобиля являются важнейшими эксплуатационными свойствами и составляющими активной безопасности движения, оценке которых придается большое значение. Представлены результаты теоретических исследований, выполненных на кафедре «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Разработаны принципы повышения показателей устойчивости и управляемости как двухосных, так и многоосных колесных машин, оснащенных различными типами трансмиссий. Обоснованы принципиальные решения по способам управления движением машин, обеспечивающих повышение их курсовой и траекторной устойчивости. Предложены критерии оценки эффективности работы комплексной системы динамической стабилизации движения колесных машин. Разработаны алгоритмы работы системы динамической стабилизации с применением методов нечеткой логики для двухосных и многоосных колесных машин.

Для аспирантов и докторантов, обучающихся по научной специальности 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины», а также для научных работников, занимающихся научными исследованиями в области теории движения колесных машин.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru