

Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение

УДК 621.432

doi: 10.18698/0536-1044-2019-4-41-51

Активные жалюзи системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания легкового автомобиля

А.П. Петров, С.Н. Банников

Курганский государственный университет

Active Shutters of the Internal Combustion Engine Cooling System of a Passenger Car

A.P. Petrov, S.N. Bannikov

Kurgan State University

Проанализирована практика применения активных жалюзи в современном автомобилестроении. Отмечена их высокая эффективность, а также снижение аэродинамического сопротивления автомобиля на 6...10 % в случае их использования. Уменьшение времени подогрева двигателя внутреннего сгорания обеспечивает более быстрый обогрев салона. Все это способствует экономии топлива и уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу. Рассмотрено применение активных жалюзи радиатора с двумя автономными управляемыми секциями. Исследования выполнены с использованием численного моделирования CFD. Определены потенциальные возможности предлагаемого варианта активных жалюзи. Установлено, что, помимо высокой эффективности, жалюзийная система имеет более простую конструкцию и надежность, обусловленную несколькими факторами. Благодаря вертикальному расположению жалюзи разработанная конструкция не снижает эффективность систем охлаждения двигателя и кондиционирования воздуха автомобиля. В отличие от существующих конструкций предлагаемая жалюзийная система регулирует подачу охлаждающего воздуха путем отдельного открытия или закрытия двух независимых секций.

Ключевые слова: активные жалюзи, система охлаждения, система кондиционирования, аэродинамическое сопротивление автомобиля, температурный режим двигателя

The practice of using active shutters in the modern automotive industry is analyzed in this work, and the high efficiency of such systems is emphasized. It is also noted that by using active shutters the aerodynamic drag of the car can be reduced by 6–10 %. The reduction in the engine's warm-up time provides faster heating of the car interior. All this helps to save fuel and reduce emissions of harmful substances into the atmosphere. The possibility of utilizing the radiator's active shutters with two autonomously controlled sections is considered. CFD numerical modelling is used to conduct the research, and the potential of the proposed active shutters design is determined. The research has shown that besides the high efficiency, the proposed shutters system has a simpler design and reliability associated with several factors. Due to the vertical arrangement of the slats, the shutters do not reduce the

efficiency of the engine's cooling system and the air conditioning system in the passenger compartment. Unlike in the existing designs, in the proposed system the cooling air supply is regulated by separate opening or closing of two independent sections.

Keywords: active shutters, cooling system, air conditioning system, aerodynamic drag of the car, temperature regime of the engine

Для поддержания заданного температурного режима двигателя внутреннего сгорания (ДВС) требуется достаточно большое количество охлаждающего воздуха. При этом проблема, связанная с увеличением аэродинамического сопротивления легкового автомобиля (далее автомобиль) при прохождении потока охлаждающего воздуха через его моторный отсек, известна давно.

Было замечено, что, когда перекрывали проход воздуха через моторный отсек, аэродинамическое сопротивление автомобиля в значительной степени снижалось. Наряду с абсурдными выводами были сделаны обоснованные предложения о необходимости ограничения подачи охлаждающего воздуха, когда он избыточен.

В 1981 г. фирма Opel представила концепт Opel Tech-1 с необычно низким коэффициентом аэродинамического сопротивления $C_x = 0,235$. Вероятно, одним из самых важных аспектов такого успеха являлось то, что на автомобиле Opel Tech-1 воздухозаборное отверстие было выполнено в виде узкой щели, ширина которой изменялась с помощью скользящей шторки [1]. В зависимости от потребности в охлаждающем воздухе ее ширина варьировалась.

Тогда же было сделано еще несколько попыток применения подобных устройств. Однако, несмотря на доказанный значительный эффект регулирования поступления потока охлаждающего воздуха, дальнейшего распространения эта методика не получила. Это можно объяснить тем, что технология управления такими системами была слишком дорогая, или тем, что проблема влияния внутренней аэродинамики на внешнюю была еще мало изучена.

В настоящее время наметился бум использования активных жалюзи (АЖ) решетки радиатора для регулирования потока воздуха. Но пока это касается только автомобилей премиум-класса, таких как Ford Kuga, Ford Focus, Ford Escape, Opel Astra ecoFLEX, Chevrolet Cruze, Chevrolet Malibu, Toyota Prius, Nissan Murano, Cadillac ATS, Buick LaCrosse, Dodge Dart Aero, Ram 1500. Конструкции АЖ применяют такие производи-

тели, как BMW, Honda, Lincoln, Mazda, Mercedes-Benz, GM, Chrysler и Rolls Royce и т. д.

Современные АЖ устанавливаются в передней части автомобиля и оборудуются автоматической системой открытия/закрытия. Существует несколько вариантов таких конструкций. Самые распространенные из них — АЖ, расположенные за верхним и/или нижним отверстиями решетки радиатора. Типичный вариант АЖ состоит из привода с электродвигателем, установленного в специальной раме, которая расположена за отверстием решетки и регулирует объем воздуха, поступающего в моторный отсек.

В зависимости от температурного режима ДВС жалюзи могут закрываться и открываться автоматически. Это позволяет ДВС сохранить тепло (зимой меньше затрачивается энергии на послепусковой прогрев и обеспечивается более быстрый обогрев салона) и улучшить аэродинамику путем ограничения подачи воздуха в моторный отсек, что в значительной степени повышает экономичность автомобиля.

Необходимое положение АЖ радиатора рассчитывается электронным блоком управления (ЭБУ), соединенным с модулем АЖ шиной, по которой передается сигнал управления положением жалюзи. ЭБУ контролирует установленное положение АЖ и при наличии неисправностей информирует о них.

Алгоритм автоматического управления АЖ зависит от информации, поступающей в ЭБУ, такой как температура охлаждающей жидкости ДВС, температура окружающего воздуха, скорость автомобиля, давление компрессора системы кондиционирования и буксировка прицепа (при наличии датчика на сцепном устройстве).

При движении автомобиля с малыми нагрузками температура охлаждающей жидкости невелика, поэтому АЖ могут быть открыты лишь частично. Однако при его длительной езде с небольшой скоростью, когда набегающего потока недостаточно и температура ДВС повышается, АЖ открываются. В случае высоких нагрузок, например при движении на подъем или сильном ускорении автомобиля, темпера-

тура ДВС увеличивается и АЖ открываются полностью.

Работа компрессора кондиционера требует дополнительного охлаждения, поэтому предусмотрен контроль его давления. При повышенном давлении в системе кондиционирования АЖ открываются полностью.

Если автомобиль движется с прицепом, то АЖ (при наличии датчика) постоянно открыты.

Существует несколько вариантов конструкций АЖ радиатора. Некоторые производители устанавливают жалюзи на то воздухозаборное отверстие, на которое поступает больше охлаждающего воздуха. Например, в автомобилях компании Cadillac ATS большая часть такого воздуха поступает через отверстие над балкой бампера, поэтому АЖ размещены за верхней решеткой. И, наоборот, на машинах фирмы Chevrolet Malibu АЖ расположены ниже бампера, так как большую часть охлаждающего воздуха принимает нижняя решетка.

В работе [2] рассмотрена самая распространенная схема АЖ, когда они смонтированы напротив верхнего и нижнего воздухозаборных отверстий, например, на автомобилях Ford. Такая схема обладает несколькими характерными признаками. Верхняя и нижняя секции снабжены общим приводом, поэтому АЖ и привод имеют общий каркас. Пространство для установки жалюзи, как правило, ограничено. Кроме того, между воздухозаборными отверстиями расположена силовая балка бампера, поэтому АЖ размещены в плоскости за ней.

Таким образом, расстояние между АЖ в открытом положении и поверхностью конденсатора кондиционера достаточно маленькое. Поскольку АЖ находятся на удалении от плоскости воздухозаборных отверстий, для обеспечения герметичного закрытия прохода воздуха последние соединены с каркасом АЖ двумя отдельными гибкими воздуховодами.

В результате АЖ имеют две секции, связанные общими приводом и тягой. Длина воздухозаборных отверстий большая, поэтому для обеспечения достаточной жесткости ламелей они «разрезаны» на две части, посередине секций проходит вертикальная перегородка. При этом обе половины соединены между собой общим приводом.

В работе [3] описаны приводы АЖ, оснащенные мотор-редукторами двух типов: с щеточным электродвигателем постоянного тока и шаговым электродвигателем. Отмечено, что

щеточный электродвигатель имеет низкую эффективность и слабую управляемость, в то время как шаговый электродвигатель характеризуется максимальной угловой точностью благодаря способности к управлению с разомкнутым контуром. Для обеспечения заданного крутящего момента использован редуктор в одном блоке с электродвигателем. Чтобы удерживать АЖ в заданном положении, редуктор должен иметь зубчатую передачу с высоким коэффициентом торможения.

В работе [4] рассмотрен алгоритм управления АЖ с шаговым электродвигателем. Положение жалюзи позиционируют на основе команд ЭБУ. Ламели АЖ поворачиваются на 90° от полностью закрытого к полностью открытому положению и имеют 16 фиксированных позиций (6 между положениями). При пуске электродвигателя происходит калибровка системы жалюзи путем обнаружения открытого и закрытого положений, т. е. АЖ должны повернуться из одного крайнего положения в другое.

При наличии определенных неисправностей (таких как блокировка жалюзи или ошибка привода) для ее исправления иницируется повторная калибровка. Если проблема не устранена, то после нескольких попыток ЭБУ вводит соответствующий диагностический код неисправности, включается аварийный режим и подается команда на полное открытие. Если в последующем система не обнаруживает неисправность, то предполагаемая ошибка удаляется.

Причиной временной неисправности может стать, например, посторонний предмет, застрявший между ламелями во время движения автомобиля. При определенных условиях заедающие АЖ могут вызвать сильное повышение температуры ДВС автомобиля. В этих условиях датчик температуры охлаждающей жидкости ДВС и ЭБУ должны защитить двигатель от перегрева путем включения вентилятора системы охлаждения или аварийного режима снижения мощности ДВС.

В статье [5] отмечено, что жалюзи стали применять в автомобилях еще в первой половине прошлого века (например, в 1929 г. — в моделях Rolls-Royce, в 1930–1940-е гг. — в Packard), но лишь для ускорения подогрева ДВС. Об аэродинамических преимуществах речь вообще не шла, со временем они стали появляться вновь, но уже в другом качестве.

В последнее время АЖ устанавливают, как правило, на роскошные брендовые автомобили

(такие как Mercedes и BMW). Но почти все изготовители автомобилей занимаются исследованием АЖ, причем в некоторых случаях в процессе их внедрения в производство.

Также в статье [5] показано, что при закрытых жалюзи и скорости движения автомобиля 105 км/ч снижение аэродинамического сопротивления составило около 11 пунктов ($-0,011 C_x$). Таким образом, аэродинамическое сопротивление уменьшилось на 3 %. При скорости движения автомобиля 130 км/ч аэродинамическое сопротивление падает на 6 %.

Исследования проводили в типичных условиях испытаний, состоящих в движении при высоких нагрузках и температуре окружающей среды. Испытания включали в себя езду при медленном и быстром (со скоростью 160 км/ч и более) городском движении. Такие жесткие условия испытаний требуются, чтобы определить необходимый воздушный поток для охлаждения системы охлаждения и ее конфигурацию.

Реализация АЖ позволит уменьшить количество воздуха, проходящего через охлаждающие модули. Но рабочие точки открытия/закрытия жалюзи радиатора должны быть выбраны так, чтобы максимизировать преимущества экономии топлива при сохранении оптимального теплового режима ДВС, моторного и трансмиссионного масел ниже их температурных пределов.

Преимущества прогрева достигаются, когда АЖ радиатора полностью закрыты во время холодного пуска ДВС, особенно при очень низкой температуре окружающей среды. Это поможет моторному и трансмиссионному маслам прогреться быстрее, чем при полностью открытой решетке.

В работе [6] отмечено, что 2016 г. стал ключевым для использования АЖ радиатора, позволяющих улучшить аэродинамику автомобиля. Для управления АЖ может быть применен электромотор постоянного тока. Приведены результаты подробного обзора использования устройства с электромотором для проектирования схемы электромотор–жалюзи.

Установлено, что при закрытии АЖ аэродинамическое сопротивление автомобиля падает на 6 %, увеличивая экономию топлива и уменьшая выбросы угарного газа до 2 %. Закрытые АЖ также снижают время подогрева ДВС в холодное время, что позволяет ему работать более эффективно, быстрее нагреваться до

оптимальной рабочей температуры и прогревать салон автомобиля.

В работе [7] показано, что топливная эффективность является важным фактором для потребителя при покупке автомобиля. Автопроизводители постоянно улучшают топливную экономичность. Одной из перспективных идей является использование АЖ радиатора для управления воздушным потоком через моторный отсек. Когда автомобиль движется по шоссе, АЖ закрываются и направляют воздух вокруг него, уменьшая аэродинамическое сопротивление и снижая расход топлива.

Однако при высоких нагрузках система охлаждения должна повышать отвод тепла, а АЖ — открываться, что позволит увеличить воздушный поток к охлаждающему пакету. После того как система охлаждения выполнила эту задачу, лопасти закрываются, обеспечивая оптимальную аэродинамику.

Кроме того, АЖ помогают уменьшить общее выделение CO_2 . В работе [7] исследовано применение в приводе АЖ шагового электромотора, который получает запросы положения от ЭБУ силовым агрегатом. Установлено, что при проектировании системы АЖ необходимо правильно выбрать размер привода. Рабочий момент открытия/закрытия жалюзи был одним из ключевых параметров для выбора привода. На вращающий момент могут повлиять обледенение, скорость автомобиля и ветра, посторонние предметы между лопастями и т. д.

Анализ проведен при различных скоростях потока воздуха для понимания распределения давления на лопасти. Значение давления определяет необходимый вращающий момент, чтобы повернуть комплект лопастей. Скорость воздуха — критический параметр для определения вращающего момента. Моделирование CFD выполнено для скорости потока воздуха 200 км/ч.

В прайс-релизе компании Opel [8] приведена информация о ее стремлении к постоянному совершенствованию автопарка, в том числе к повышению эффективности и сокращению выбросов CO_2 . Следующим шагом этой стратегии является разработка инновационных АЖ. Компания Opel представила АЖ еще в 2010 г., что позволило сократить выбросы углекислого газа двигателем автомобиля Astra ecoFLEX до 99 г/км.

В настоящее время компания Opel разрабатывает новые полнофункциональные АЖ, что еще больше повысит эффективность использо-

вания топлива. Интеллектуальные стратегии управления открытием/закрытием верхней и нижней частей решетки радиатора осуществляются независимо друг от друга.

Таким образом, обеспечивается высокая эффективность в различных условиях эксплуатации автомобиля, в частности улучшается его аэродинамика. Это позволит сократить общее сопротивление до 10 %, а следовательно, снизить расход топлива примерно на 2 % в европейском ездовом цикле или до 5 % при движении со скоростью 130 км/ч.

Полнофункциональные АЖ также обеспечивают тепловой баланс, задерживая охлаждение после выключения ДВС или ускоряя его прогрев после холодного пуска. Это также позволяет значительно уменьшить расход топлива и обогреть салон автомобиля, что особенно актуально зимой. Несмотря на кажущуюся простоту и логику решения, полнофункциональные АЖ представляют собой серьезную проблему для дизайнеров и инженеров, так как им приходится учитывать множество факторов при проектировании жалюзи.

Анализ рассмотренных работ показал, как важно использовать АЖ. Трудно найти в автомобилестроении пример, дающий такой же многосторонний и значительный эффект. При таких результатах данная стратегия явно запоздала.

Как уже отмечалось, длительное время воздействию внутренних потоков на внешнюю аэродинамику автомобиля не уделялось должного внимания. Существовало ошибочное представление о том, что корень проблемы связан с сопротивлением внутренних каналов, т. е. перепутаны причины и следствие [9–13]. До сих пор можно встретить невнятные представления о влиянии внутреннего потока на аэродинамику автомобиля, например, о том, что жалюзи закрывают, и они направляют воздух вокруг автомобиля, создавая меньше завихрения, чем если бы воздух проходил внутри автомобиля.

Однако исследования показывают, что снижение аэродинамического сопротивления автомобиля при закрытии прохода воздуха через подкапотное пространство вызвано интерференцией внутреннего и внешнего потоков, что приводит к изменению давления на внешней поверхности автомобиля. Причем чем больше расход воздуха, тем значительнее это влияние [9, 14–17].

Отсюда можно сделать вывод о необходимости рационального использования набегающего

потока воздуха в целях уменьшения потребности в охлаждающем воздухе и ограничения расхода воздуха через внутреннее пространство автомобиля при его избыточном поступлении. Для рационального применения охлаждающего воздуха следует создать условия для равномерного распределения воздушного потока по фронтальной поверхности теплообменников, исключить перетоки воздуха мимо теплообменников и т. д.

Проведенный анализ показал, что к недостаткам современных АЖ относятся дороговизна, сложность конструкции и иногда недостаточная надежность.

Цель работы — исследование возможности применения активной жалюзийной системы (АЖС), в некоторой степени лишенной этих недостатков.

Предлагаемая АЖС (опытный вариант) состоит из двух независимых (большой и малой) секций, имеющих разное проходное сечение (рис. 1).

Размеры прямоугольной обечайки позволяют охватить радиатор системы охлаждения и конденсатор системы кондиционирования. Обечайка, образующая корпус АЖС, прикреплена к моторной перегородке перед теплообменниками. Небольшая глубина обечайки должна обеспечивать размещение ламелей жалюзи в открытом положении без касания к элементам конденсатора.

Обечайка имеет вертикальную перегородку, образуя две секции. Ламели расположены вертикально и способны поворачиваться вокруг своих осей. Вследствие малой высоты обечайки длина ламелей также невелика, поэтому они



Рис. 1. АЖС с открытыми большой и малой секциями

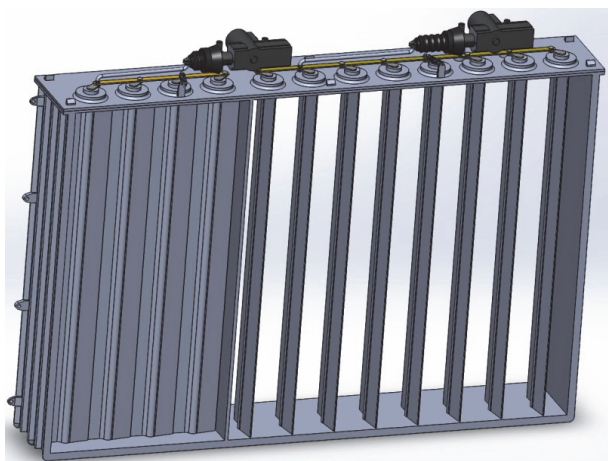


Рис. 2. АЖС с закрытой малой секцией

имеют достаточную жесткость при небольшой толщине.

В верхней части АЖС размещен отдельный привод секций, особенностью которого является то, что жалюзи способны занимать только два положения — открытое и закрытое. Благодаря этому требования к мотор-редуктору минимальные, т. е. можно использовать щеточный мотор и простой редуктор.

Фиксация жалюзи в открытом и закрытом состояниях осуществляется пружинами. АЖС имеет четыре режима регулирования проходного сечения: 1) открыты обе секции; 2) закрыта малая секция (рис. 2); 3) закрыта большая секция; 4) закрыты обе секции.

Для оценки возможности применения такой АЖС и выявления ее достоинств и недостатков

проведены исследования численными методами с использованием CFD. Использована трехмерная модель аэродинамического стенда и АЖС (рис. 3).

Стенд, имитировавший подкапотное пространство автомобиля, имел простые геометрические формы. Его разделили на две части перегородкой. Впереди расположили предрадиаторную камеру, имеющую два воздухозаборных отверстия. На перегородке выполнили отверстие, где установили блок охлаждения.

Вторая камера большего размера представляла собой подкапотное пространство с имитацией ДВС, в нижней части за ним разместили выпускное отверстие. Размеры подкапотного пространства, предрадиаторной камеры и воздухозаборных отверстий соответствовали размерам реального автомобиля. Блок охлаждения состоял из радиатора системы охлаждения, конденсатора и вентиляторной установки, геометрические параметры которых полностью соответствовали реальным объектам.

Первая задача исследования заключалась в изучении влияния АЖС на работу вентиляторной установки и в использовании набегающего потока. Моделировали работу вентилятора для режима АЖС с открытыми жалюзи. Полученные результаты сравнивали с данными моделирования без жалюзи.

Исследование показало, что наличие жалюзи не влияет на расход воздуха через теплообменники. Аналогичный результат получили и при моделировании набегающего потока воздуха. Таким образом, установлено, что вертикальные

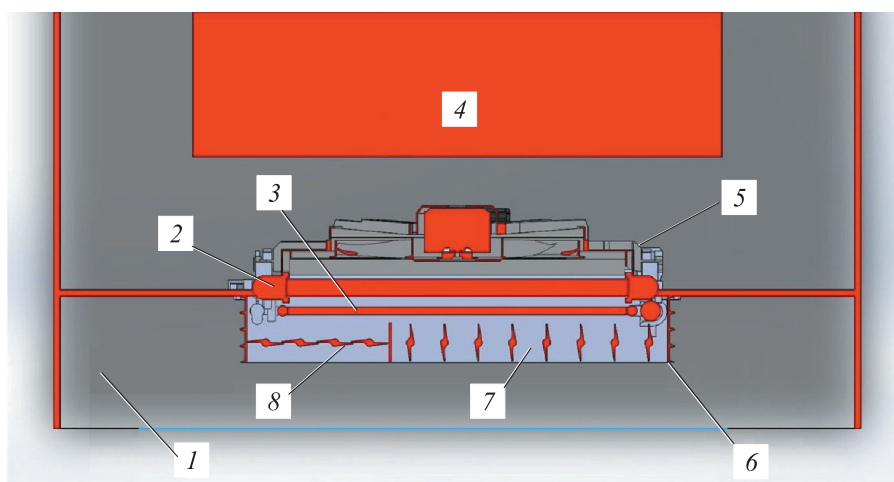


Рис. 3. Трехмерная модель аэродинамического стенда и АЖС с блоком охлаждения (горизонтальное сечение):

1 — предрадиаторная камера; 2 — радиатор; 3 — конденсатор; 4 — двигатель; 5 — кожух вентилятора; 6 — обечайка; 7 и 8 — большая и малая секции

жалюзи практически никакого воздействия на прохождение потока воздуха не оказывают.

Вторая задача исследования заключалась в определении регулировочной характеристики АЖС. Отношение проходных сечений малой и большой секций составляло 1:1,95. Малая секция имела четыре ламели, большая — восемь. Набегающий поток моделировали заданием избыточного давления (800 Па) на входе в воздухозаборные отверстия, что соответствовало высокой скорости движения автомобиля (>100 км/ч).

Расчет проводили с использованием реальных аэродинамических характеристик радиатора и конденсатора. При полностью открытых жалюзи расход воздуха G через радиатор составил $0,92 \text{ м}^3/\text{с}$, при закрытой малой секции — $0,85 \text{ м}^3/\text{с}$, при закрытой большой секции — $0,50 \text{ м}^3/\text{с}$, при закрытых малой и большой секциях воздух совсем не проходил (рис. 4).

При необходимости регулировочная характеристика может быть скорректирована изменением проходного сечения секций. Такую возможность также смоделировали, для чего изменили конструкцию АЖС, где малая секция имела пять ламелей, большая — семь. Отношение проходных сечений малой и большой секций составило 1:1,38. Регулировочная характеристика АЖС с указанным отношением проходных сечений секций показана на рис. 5.

Как было установлено ранее [18], через нижнее и верхнее воздухозаборные отверстия поступает различное количество воздуха. Неравномерный поток при работе вентилятора связан с неодинаковыми размерами отверстий

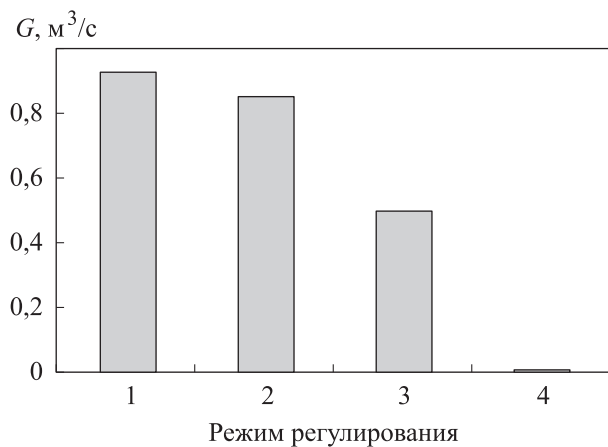


Рис. 4. Регулировочная характеристика АЖС при отношении проходных сечений секций 1:1,95 для различных режимов:
1 — открыты обе секции; 2 — закрыта малая секция; 3 — закрыта большая секция; 4 — закрыты обе секции

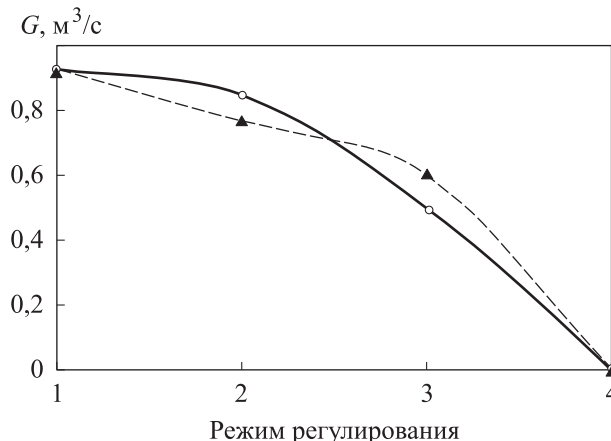


Рис. 5. Регулировочная характеристика АЖС при отношении проходных сечений секций 1:1,95 (○) и 1:1,38 (▲) для различных режимов: 1–4 — то же, что на рис. 4

и их асимметричным расположением, при использовании набегающего потока добавляется влияние разного давления в зоне отверстий.

С точки зрения рационального использования набегающего потока скорость воздуха должна быть равномерно распределена по фронтальной поверхности теплообменников, для чего воздушный поток в предрадиаторной камере должен успеть перераспределиться по поверхности теплообменников. Перераспределяясь, поток идет снизу вверх или наоборот, т. е. перетекает в вертикальной плоскости.

Как показали исследования, поле скоростей воздуха по фронтальной поверхности радиатора и конденсатора остается практически неизменным в случае установки перед теплообменниками предлагаемой АЖС. Это связано с тем, что ламели расположены вертикально, поэтому поток беспрепятственно перераспределяется в вертикальной плоскости.

Третья задача исследований состояла в сопоставлении влияния вертикальных и горизонтальных жалюзи на воздушный поток. Для моделировали работу вентилятора с применением горизонтальных жалюзи, установленных в верхнем и нижнем воздухозаборных отверстиях (рис. 6), причем размеры и расположение отверстий были сохранены.

Жалюзи разместили в направляющих каналах (как это обычно делают на практике). Чтобы исключить влияние подводящих каналов, их сечение сделали в 1,5 раза больше, чем у воздухозаборных отверстий. Заднюю кромку ламелей жалюзи расположили на расстоянии 15 мм, как и в опытном варианте (см. рис. 3).

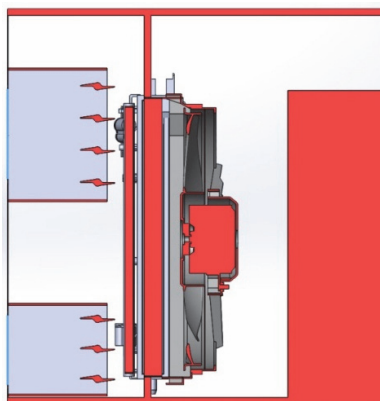


Рис. 6. Модель аэродинамического стенда и горизонтальных жалюзи с блоком охлаждения (вертикальное сечение)

По сравнению с опытным вариантом у конструкции с горизонтальными жалюзи расход воздуха через радиатор при работе вентилятора уменьшился совсем незначительно, а через конденсатор — на 1,5 %. На распределение скорости потока воздуха по фронтальной поверхности теплообменников горизонтальные жалюзи оказали большое влияние. Так, неравномерность поля скоростей по фронтальной поверхности радиатора оказалась на 4 % больше, чем в опытном варианте.

Еще значительнее горизонтальные жалюзи повлияли на распределение потока через конденсатор, неравномерность увеличилась на 17 %. Поверхность конденсатора расположена наиболее близко к жалюзи, поэтому поток воз-

духа, проходящего в большем количестве через верхнее воздухозаборное отверстие, не может поступить в нижнюю часть теплообменников. Это хорошо видно на рис. 7, где в нижней части конденсатора скорость заметно ниже.

Радиатор находится несколько в лучших условиях, поскольку его фронтальная поверхность расположена на большем удалении от горизонтальных жалюзи, и у потока есть возможность обойти имеющиеся преграды с боков, хотя и здесь картина похожа. Следует отметить, что не только горизонтальные жалюзи мешают перераспределению потока воздуха по фронтальной поверхности теплообменников, но и направляющий канал. Наличие каналов — это вынужденная мера, поскольку, как отмечено ранее, между воздухозаборными отверстиями находится силовая балка бампера.

Увеличение расстояния между жалюзи и поверхностью конденсатора до 30 мм приводит к существенному улучшению распределения воздушного потока, неравномерность на радиаторе возрастает лишь на 1,5 %, а на конденсаторе на 9 % по сравнению с таковой для опытного варианта.

Выводы

1. Предлагаемая АЖС имеет всего четыре режима регулирования положения жалюзи, но при этом она в полной мере способна выполнять свои функции.

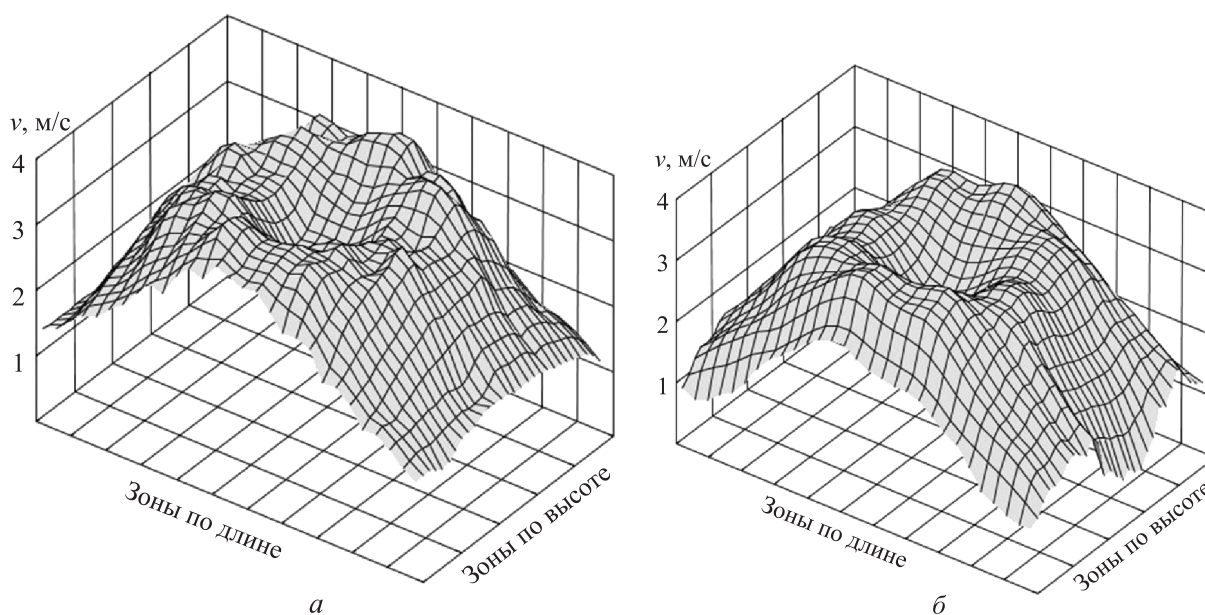


Рис. 7. Эпюры скорости воздуха по фронтальной поверхности конденсатора в опытном варианте (а) и конструкции с горизонтальными жалюзи (б)

2. Разработанной системе присущи следующие достоинства:

- простота конструкции, обеспечиваемая применением простого привода (где ламели имеют только две фиксированные позиции, т. е. не требуется точное позиционирование) и, соответственно, упрощением выбора электродвигателя, редуктора и электрической схемы управления;
- использование для контроля положения жалюзи только конечных датчиков;
- меньшие, чем у прототипов, число и размеры ламелей благодаря небольшому фронтальному размеру корпуса АЖС;
- невысокий момент поворота ламелей в крайних позициях, несмотря на наличие пружин фиксации;
- повышенная надежность, так как мала вероятность одновременного выхода из строя обеих секций, и даже если большая секция останется закрытой, автомобиль сохранит возможность доехать до мастерской;
- более простая конструкция, уменьшенные габаритные размеры и масса корпуса по срав-

нению с параметрами воздухопроводов прототипов, где установлены жалюзи;

- компактность (что позволяет разместить систему в предрадиаторной камере);
- конструкция АЖС со всех сторон прикрывает теплообменники, что в значительной степени уменьшает потерю тепла на стоянке вследствие снижения конвективного теплообмена; такая конструкция препятствует обледенению жалюзи и попаданию посторонних предметов.

3. Принципы регулирования АЖС могут быть такими же, как у прототипов, но при этом в алгоритме управления необходимо предусмотреть возможность избежать частое срабатывание привода секций с помощью подобранного «гистерезиса управления».

4. Недостатком АЖС является то, что при некоторых режимах движения автомобиля возможно небольшое избыточное поступление охлаждающего воздуха вследствие того, что точка включения будет находиться между двумя ступенями регулирования. В холодное время года этот недочет будет сведен к минимуму.

Литература

- [1] Евграфов А.Н., Мамедов В.А. Пути улучшения аэродинамики легковых автомобилей. *Автомобильная промышленность*, 1984, № 4, с. 12–14.
- [2] *Ford Focus Active Grille Shutters*. URL: <https://rts.i-car.com/collision-repair-news/2012-ford-focus-active-grille-shutters.html> (дата обращения 15 декабря 2018).
- [3] Rhyu S.-H., Lee J.-J., Gu B.-G., Choi B.-D., Lim J.-H. Development of a Micro-Step Voltage-Fed Actuator with a Novel Stepper Motor for Automobile AGS Systems. *Sensors*, 2014, vol. 14, pp. 8026–8036, doi: <https://doi.org/10.3390/s140508026>
- [4] *Active Grill Shutters, how exactly do they work?* URL: <https://www.focusst.org/forum/focus-st-maintenance/35971-active-grill-shutters-how-exactly-do-they-work-2.html> (дата обращения 15 декабря 2018).
- [5] El-Sharkawy A., Kamrad J., Lounsberry T., Baker G., Rahman S.S. Evaluation of Impact of Active Grille Shutter on Vehicle Thermal Management. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 2011, vol. 4(1), pp. 1244–1254, doi: <https://doi.org/10.4271/2011-01-1172>
- [6] Amin I., Duncan R. *Operating an Engine-Grille Shutter Motor with DRV8872-Q1*. Application Report SLVA858–December 2016. URL: <http://www.ti.com/lit/an/slva858/slva858.pdf> (дата обращения 15 декабря 2018).
- [7] Budumuru V., Dunn P. Using AcuSolve and MotionSolve for determining torque requirements of an Active Grille Shutter Application. *Altair Technology Conference, India*, 2017, pp. 1–4. URL: https://www.altairatc.com/india/previous-events/atc/2017/MBD/04_MBD_ShapeCorp-Altair%20Technology%20Conference%202017_NetShape.pdf (дата обращения 10 октября 2018).
- [8] Romain N. *Radiator shutter for reduced aerodynamic drag*. URL: <http://www.car-engineer.com/radiator-shutter-reduced-aerodynamic-drag/> (дата обращения 10 марта 2018).
- [9] Schütz T. *Hucho-Aerodynamik des Automobils. Strömungsmechanik-Wärmetechnik-Fahrdynamik-Komfort. 6. Vollständig neu überarbeitete und erweiterte Auflage*. Springer Vieweg, Springer Fachmedien Wiesbaden 2005, 2013. 1171 p.

- [10] Williams J. Aerodynamic Drag of Engine-Cooling Airflow with External Interference. *SAE World Congress*, Detroit, MI, United States, 3–6 March 2003, code 90286, doi: 10.4271/2003-01-0996
- [11] 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, code 82594.
- [12] D'Hondt M. *Etude theorique, experimentale et numerique de l'e-coulement de refroidissement et de ses effets sur l'aerodynamique automobile*. Docteur de l'Université d'Orléans. Université d'Orléans, 2010. 279 p.
- [13] Katz J. *Race Car Aerodynamics*. Cambridge, Bentley Publishers, 1995. 316 p.
- [14] Baeder D., Indinger T., Adams N.A., Unterlechner P., Wickern G. Interference effects of cooling airflows on a generic car body. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2013, vol. 119, pp. 146–157, doi: 10.1016/j.jweia.2013.05.009
- [15] Петров А.П. Факторы, связывающие аэродинамику автомобиля с его внутренней аэродинамикой. *Журнал автомобильных инженеров*, 2016, № 1(96), с. 8–11.
- [16] Petrov A. Effect of inner air flow on the aerodynamics of the car. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 2017, doi: <https://doi.org/10.3311/PPtr.10376>
- [17] Петров А.П., Петров К.А. Влияние внутренних потоков на аэродинамику легкового автомобиля. *Автотракторостроение-2009. Матер. Междунар. симп.*, Москва, МГТУ «МАМИ», 2009, с. 235–245.
- [18] Петров А.П., Сеницын С.Н., Банников С.Н. Математическая модель воздушного тракта с воздухозаборными отверстиями системы охлаждения двигателя. *Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства. Матер. Всерос. науч.-практ. конф.*, 2014, Ижевск, Изд-во ИННОВА, 2015, с. 51–56.

References

- [1] Evgrafov A.N., Mamedov V.A. Ways to improve the aerodynamics of cars. *Automotive industry*, 1984, no. 4, pp. 12–14.
- [2] *Ford Focus Active Grille Shutters*. Available at: <https://rts.i-car.com/collision-repair-news/2012-ford-focus-active-grille-shutters.html> (accessed 15 December 2018).
- [3] Rhyu S.-H., Lee J.-J., Gu B.-G., Choi B.-D., Lim J.-H. Development of a Micro-Step Voltage-Fed Actuator with a Novel Stepper Motor for Automobile AGS Systems. *Sensors*, 2014, vol. 14, pp. 8026–8036, doi: <https://doi.org/10.3390/s140508026>
- [4] *Active Grill Shutters, how exactly do they work?* Available at: <https://www.focusst.org/forum/focus-st-maintenance/35971-active-grill-shutters-how-exactly-do-they-work-2.html> (accessed 15 December 2018).
- [5] El-Sharkawy A., Kamrad J., Lounsbury T., Baker G., Rahman S.S. Evaluation of Impact of Active Grille Shutter on Vehicle Thermal Management. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 2011, vol. 4(1), pp. 1244–1254, doi: <https://doi.org/10.4271/2011-01-1172>
- [6] Amin I., Duncan R. *Operating an Engine-Grille Shutter Motor with DRV8872-Q1*. Application Report SLVA858–December 2016. Available at: <http://www.ti.com/lit/an/slva858/slva858.pdf> (accessed 15 December 2018).
- [7] Budumuru V., Dunn P. *Using AcuSolve and MotionSolve for determining torque requirements of an Active Grille Shutter Application*. Altair Technology Conference, India, 2017, pp. 1–4. Available at: https://www.altairat-s.com/india/previous-events/at-s/2017/MBD/04_MBD_ShapeCorp-Altair_Technology_Conference_2017_NetShape.pdf (accessed 10 October 2018).
- [8] Romain N. *Radiator shutter for reduced aerodynamic drag*. Available at: <http://www.car-engineer.com/radiator-shutter-reduced-aerodynamic-drag/> (accessed 10 March 2018).
- [9] Schütz T. *Hucho-Aerodynamik des Automobils. Strömungsmechanik-Wärmetechnik-Fahrdynamik-Komfort. 6. Vollständig neu überarbeitete und erweiterte Auflage*. Springer Vieweg, Springer Fachmedien Wiesbaden 2005, 2013. 1171 p.

- [10] Williams J. Aerodynamic Drag of Engine-Cooling Airflow with External Interference. *SAE World Congress*, Detroit, MI, United States, 3–6 March 2003, code 90286, doi: 10.4271/2003-01-0996
- [11] 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, code 82594.
- [12] D'Hondt M. *Theoretical, experimental and numerical study of cooling e-flow and its effects on automotive aerodynamics*. Doctor of the University of Orleans. University of Orleans, 2010. 279 p.
- [13] Katz J. *Race Car Aerodynamics*. Cambridge, Bentley Publishers, 1995. 316 p.
- [14] Baeder D., Indinger T., Adams N.A., Unterlechner P., Wickern G. Interference effects of cooling airflows on a generic car body. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2013, vol. 119, pp. 146–157, doi: 10.1016/j.jweia.2013.05.009
- [15] Petrov A.P. Factors linking the aerodynamics of the car with its internal aerodynamics. *Zurnal AAI*, 2016, no. 1(96), pp. 8–11 (in Russ.).
- [16] Petrov A. Effect of inner air flow on the aerodynamics of the car. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 2017, doi: <https://doi.org/10.3311/PPtr.10376>
- [17] Petrov A.P., Petrov K.A. The influence of internal flows on the aerodynamics of a car. *Avto-traktorostroeniye-2009. Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma* [Automotive industry-2009. Proceedings of the international Symposium]. Moscow, MSTU “MAMI”, 2009, pp. 235–245 (in Russ.).
- [18] Petrov A.P., Sinitsyn S.N., Bannikov S.N. Mathematical model of the air path with air intake openings of the engine cooling system. *Avtomobilstroyeniye: proyektirovaniye, konstruirovaniye, raschet i tekhnologii remonta i proizvodstva. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Automotive: design, construction, calculation and repair and production technologies. Materials of the all-Russian scientific-practical conference]. 2014, Izhevsk, INNOVA publ., 2015, pp. 51–56.

Статья поступила в редакцию 31.01.2019

Информация об авторах

ПЕТРОВ Александр Павлович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили». Курганский государственный университет (640020, Курган, Российская Федерация, ул. Советская, 63, стр. 4, e-mail: alex_p2@mail.ru).

БАННИКОВ Семен Николаевич — аспирант кафедры «Автомобили». Курганский государственный университет (640020, Курган, Российская Федерация, ул. Советская, 63, стр. 4, e-mail: wrx45@mail.ru).

Information about the authors

PETROV Aleksandr Pavlovich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Automobile Department. Kurgan State University (640020, Kurgan, Russian Federation, Sovetskaya St., Bldg. 63, Block 4, e-mail: alex_p2@mail.ru).

BANNIKOV Semyon Nikolaevich — Postgraduate, Automobile Department. Kurgan State University (640020, Kurgan, Russian Federation, Sovetskaya St., Bldg. 63, Block 4, e-mail: wrx45@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Петров А.П., Банников С.Н. Активные жалюзи системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания легкового автомобиля. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 4, с. 41–51, doi: 10.18698/0536-1044-2019-4-41-51

Please cite this article in English as:

Petrov A.P., Bannikov S.N. Active Shutters of the Internal Combustion Engine Cooling System of a Passenger Car. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 4, pp. 41–51, doi: 10.18698/0536-1044-2019-4-41-51