

DOI: 10.12731/2227-930X-2021-11-1-17-33

УДК 629.3

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПЕРЕД ФРОНТОМ РАДИАТОРА НА РАСХОД ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЕМ АВТОМОБИЛЯ

Хольщев Н.В., Коновалов Д.Н., Лавренченко А.А.

Рост стоимости топлива для автомобильных транспортных средств вызывает не только поиск альтернативных источников энергии и применения новых конструкций двигателей для автомобилей, но и поиск способов снижения расхода топлива у уже существующих автомобилей с двигателем внутреннего сгорания за счет совершенствования их конструкции. Мощность, вырабатываемая двигателем внутреннего сгорания, расходуется не только на привод ведущих колес, но и на привод вспомогательного оборудования, обеспечивающего возможность работы двигателя и его систем, а также повышающего безопасность и комфорт передвижения. За счет снижения мощности на привод вспомогательного оборудования или времени его работы можно достичь снижения расхода топлива двигателем. Обязательным элементом любого автомобиля, оборудованного двигателем внутреннего сгорания, является система охлаждения, которая в своем составе содержит радиатор, обеспечивающий теплоотдачу излишнего тепла атмосфере и вентилятор, интенсифицирующий этот процесс при необходимости. Время работы вентилятора непосредственно влияет на расход топлива двигателем автомобиля, следовательно, снизив время его работы можно уменьшить расход топлива. Этого можно достичь, увеличив значение полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора, который зависит от скорости воздуха, протекающего через радиатор. Скорость воздушного потока, без увеличения потребляемой вентилятором мощности, можно повысить за счет уменьшения аэродинамических сопротивлений воздушного тракта

автомобиля. Теоретические предпосылки, подкрепленные анализом предыдущих исследований, нуждаются в экспериментальном подтверждении и практической оценке величины экономии топлива при совершенствовании воздушного тракта автомобиля, обеспечивающем уменьшение времени работы вентилятора.

Цель – теоретическое обоснование влияния скорости воздушного потока перед фронтом радиатора на расход топлива двигателем автомобиля.

Метод или методология проведения работы: в статье использовались системный подход, а также методы математического моделирования.

Результаты: на примере конкретного автомобиля определено влияние увеличения скорости воздушного потока перед фронтом радиатора на расход топлива двигателем автомобиля.

Область применения результатов: полученные результаты могут быть использованы организациями, осуществляющими разработку, ремонт и тюнинг автомобильных транспортных средств и их систем.

Ключевые слова: автомобильный радиатор; коэффициент теплоотдачи; скорость воздушного потока

THEORETICAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE AIR FLOW RATE IN FRONT OF THE RADIATOR FRONT ON THE FUEL CONSUMPTION OF THE CAR ENGINE

Holshev N.V., Lavrenchenko A.A., Konovalov D.N.

The increase in the cost of fuel for motor vehicles causes not only the search for alternative energy sources and the use of new engine designs for cars, but also the search for ways to reduce fuel consumption in existing cars with an internal combustion engine by improving their design. The power generated by the internal combustion engine is spent not only on the drive of the driving wheels, but also on the drive of auxiliary

equipment that provides the ability to operate the engine and its systems, as well as increasing the safety and comfort of movement. By reducing the power to drive the auxiliary equipment or its operating time, it is possible to reduce the fuel consumption of the engine. A mandatory element of any car equipped with an internal combustion engine is the cooling system, which in its composition contains a radiator that provides heat transfer of excess heat to the atmosphere and a fan that intensifies this process if necessary. The operating time of the fan directly affects the fuel consumption of the car engine, therefore, by reducing the operating time of the fan, you can reduce fuel consumption. This can be achieved by increasing the value of the total heat transfer coefficient through the radiator walls, which depends on the speed of air flowing through the radiator. The speed of the air flow, without increasing the power consumed by the fan, can be increased by reducing the aerodynamic resistance of the air path of the car. The theoretical assumptions supported by the analysis of previous studies need experimental confirmation and practical assessment of the amount of fuel economy when improving the air path of the car, which reduces the fan operating time.

Purpose – *theoretical justification of the influence of the air flow velocity in front of the radiator front on the fuel consumption of the car engine.*

Methodology *the article uses a systematic approach, as well as methods of mathematical modeling.*

Results: *on the example of a particular car, the effect of increasing the air flow velocity in front of the radiator front on the fuel consumption of the car engine is determined.*

Practical implications *the results obtained can be used by organizations engaged in the development, repair and tuning of motor vehicles and their systems.*

Keywords: *car radiator; heat transfer coefficient; air flow rate*

Введение

Поддержание оптимального теплового режима работы двигателя является обязательным условием надежной работы двигателя [19]. Основным элементом системы охлаждения двигателя

автомобиля является радиатор, который обеспечивает рассеивание в окружающую среду излишней теплоты, передаваемой ему от двигателя охлаждающей жидкостью [18, 20]. Количество теплоты, передаваемое двигателем охлаждающей жидкости, изменяется в широких пределах в зависимости от многих факторов, определяемых не только конструктивными параметрами двигателя, но и его рабочими режимами, а также режимами движения автомобиля. При высокой температуре окружающего воздуха и малой скорости движения автомобиля радиатор не успевает отдавать излишнее тело атмосфере из-за низкого потока воздуха через него. Для таких случаев в систему охлаждения дополнительно встраивается вентилятор, обеспечивающий дополнительный поток воздуха через радиатор. Привод вентилятора может быть выполнен конструктивно различным образом: через ременную передачу, через гидромуфту, при помощи электродвигателя [11, 13]. Последний вариант наиболее часто применяется в настоящее время. Какой бы ни был вентилятор, его работа ведет к росту расхода топлива автомобилем. Снижая время включения вентилятора или мощность потребляемую им, можно снизить расход топлива, что с учетом стоимости топлива является актуальным.

Теоретические исследования

Энергетический расчет системы охлаждения проводится на всех режимах работы двигателя. Чаще всего выбирают наименее благоприятный режим работы двигателя и движения автомобиля: максимально возможное тепловыделение; температура охлаждающей жидкости на входе в радиатор равна максимально возможной при эксплуатации автомобиля; температура воздуха на входе в радиатор соответствует максимальной для данного климатического района; режим движения соответствует длительному подъему полностью груженого автомобиля при крутизне 7,2% с установившейся скоростью 50 км/ч [3].

Расчет системы охлаждения двигателя предусматривает те-

пловой расчет, а также аэродинамический, основанный на тепловом. Задачей теплового расчета является определение величины тепла отводимого охлаждающей среде $Q_{\text{ж}}$ [1, 2, 7-9, 10, 14, 17, 18]. Ее можно найти по эмпирическим формулам, учитывающим теплотворную способность топлива, конструктивные особенности и режим работы двигателя, его эффективную мощность при рассматриваемом режиме [10]. Затем осуществляется расчет объема циркулирующей охлаждающей жидкости с учетом ее теплоемкости и температуры на входе и выходе из радиатора [15].

Следующим этапом расчета системы охлаждения двигателя является определение площади поверхности охлаждения [1, 2, 7-9, 10, 14]:

$$F_p = \frac{Q_{\text{ж}}}{k(t_{\text{охлаж}} - t_{\text{охла}})}, \quad (1)$$

где k – полный коэффициент теплопередачи через стенки радиатора, Вт/м²·К; $t_{\text{охлаж}}$ и $t_{\text{охла}}$ – средняя температура соответственно охлаждающей жидкости в радиаторе и проходящего через радиатор воздуха, °К.

Величина k может быть определена по формуле [1, 2, 7]:

$$k = \frac{1}{\frac{f_{\text{оп}}}{\alpha_1} + \frac{f_{\text{оп}} \cdot \delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенкам радиатора, Вт/м²·К; λ – коэффициент теплопроводности металла стенок (трубок) радиатора, Вт/м·К; δ – толщина стенки трубки, м; α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенок радиатора (трубок) к воздуху, Вт/м²·К; $f_{\text{оп}}$ – коэффициент оребрения трубок решетки.

Анализ формулы (2), с учетом экспериментальных значений коэффициентов α_1 ($\alpha_1 = 2300 \dots 4100$ Вт/м²·К), λ (для латуни $\lambda = 84 \dots 125$ Вт/м·К; для алюминиевых сплавов $\lambda = 105 \dots 200$ Вт/м·К; для меди $\lambda = 330$ Вт/м·К) и α_2 ($\alpha_2 = 40 \dots 300$ Вт/м²·К), а также значений толщины стенки трубок радиатора ($\delta = 0,0015 \dots 0,002$ м) и степени оребрения ($f_{\text{оп}} = 5 \dots 11,5$) [1, 2, 6, 7-9, 10], показывает, что наибольшее влияние значения полного коэффициент теплопередачи через стенки

радиатора оказывает наименьший из коэффициентов – коэффициент теплоотдачи от стенок радиатора (трубок) к воздуху α_2 . Известно, что влияние отношения $\frac{f_{\text{оп}} \cdot \delta}{\lambda}$ (термическое сопротивление) на полный коэффициент теплопередачи через стенки радиатора для современных радиаторов мало (около 0,5%) и при практических расчетах его можно не учитывать [7]. В большинстве случаев также можно пренебречь и отношением $\frac{f_{\text{оп}}}{\alpha_1}$ [7]. В таком случае можно считать, что $k \approx \alpha_2$ [7]. Коэффициент теплоотдачи от стенок радиатора к воздуху α_2 можно найти по формуле [2]:

$$k \approx \alpha_2 \approx 41v_{\text{воз}}^{0,8} \quad (3)$$

где $v_{\text{воз}}$ – скорость воздуха перед фронтом радиатора, м/с.

На основании формулы (3) построим теоретическую кривую изменения значений полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора при различных значениях скорости воздушного потока (рисунок 1).

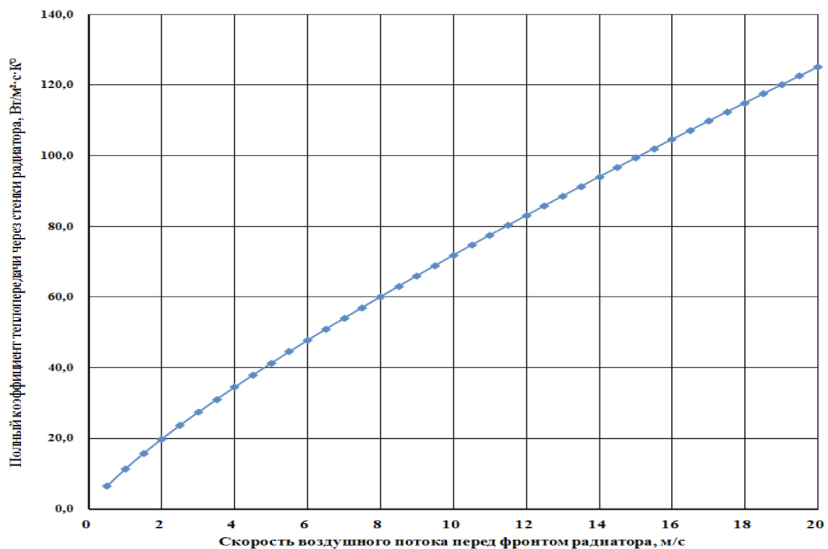


Рис. 1. График изменения полного коэффициента теплопередачи автомобильного радиатора

Из рисунка 1 видно, что наиболее интенсивный прирост значений полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора происходит при минимальных значениях скорости воздушного потока и составляет 54% при росте скорости воздуха от 0,5 до 1 м/с. Затем интенсивность прироста коэффициента плавно снижается до 5% при скорости воздуха 7,5 м/с. Дальнейшее увеличение скорости воздушного потока ведет к незначительному, практически линейному росту полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора до 2% при скорости воздуха 20 м/с. Прирост скорости воздушного потока на данном участке зависимости в 1 м/с приводит к росту k в среднем на две единицы. Полученные значения будут отличаться от реальных, но зависимость останется примерно такой же [1, 7, 9].

Изыскание способов повышения скорости потока воздуха, протекающего через радиатор являются актуальной задачей [4, 5, 17], решение которой положительно скажется при электроприводе вентилятора системы охлаждения на топливную экономичность автомобиля при совершенствовании существующего блока «вентилятор-радиатор» автомобиля, а при проектировании новых систем охлаждения позволит снизить массу радиатора (за счет уменьшения степени ребренности радиатора) или его площадь, сделав более компактным.

Для оценки влияния скорости воздушного потока на время работы вентилятора системы охлаждения необходимо знать время его работы при начальном значении скорости воздушного потока и величину снижения данного времени при новом значении скорости воздуха. Физический смысл полного коэффициента теплопередачи – количество теплоты (в Дж) отводимых от более нагретого тела с 1 м^2 за 1 секунду при разности температур между телами в 1 градус. Тогда при неизменном количестве теплоты и переменном значении коэффициента полной теплопередачи время за которое будет рассеяно некоторое количество теплоты $Q_{\text{ж}}$ составит:

$$\tau_1 = \frac{Q_{\text{ж}}}{k_1 F_p \Delta t_1}, \text{с.} \quad (4)$$

где Δt_1 – разность средних значений температур охлаждающей жидкости и воздуха, °К.

При новом значении коэффициента k_2 время будет иное и составит:

$$\tau_2 = \frac{Q_{\text{ж}}}{k_2 F_p \Delta t_2}, \text{ с.} \quad (5)$$

где Δt_2 – разность средних значений температур охлаждающей жидкости и воздуха, °К.

Тогда величина изменения времени работы вентилятора в долях единицы составит относительно исходного составит:

$$\Delta\tau = \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{\frac{Q_{\text{ж}}}{k_2 F_p \Delta t_2}}{\frac{Q_{\text{ж}}}{k_1 F_p \Delta t_1}} = \frac{Q_{\text{ж}}}{k_2 F_p \Delta t_2} \cdot \frac{k_1 F_p \Delta t_1}{Q_{\text{ж}}}. \quad (6)$$

После преобразований получим выражение описывающее изменение времени работы вентилятора в зависимости от величины полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора

$$\Delta\tau = \frac{k_1 \Delta t_1}{k_2 \Delta t_2}. \quad (7)$$

Зная мощность, потребляемую двигателем вентилятора N_B и время работы вентилятора τ_1 , соответствующее исходному значению полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора k_1 , а также удельный расход топлива двигателем автомобиля g_e , КПД генератора автомобиля η_r и электродвигателя вентилятора $\eta_{\text{эд}}$ можно найти массу топлива, расходуемого на привод вентилятора:

$$m_{\text{мв1}} = \frac{g_e N_B \tau_1}{3600 \eta_{\text{эд}} \eta_r}. \quad (8)$$

где g_e – удельный расход топлива двигателем автомобиля, г/кВт·ч; N_B – мощность электродвигателя вентилятора, кВт; η_r – КПД генератора автомобиля; $\eta_{\text{эд}}$ – электродвигателя вентилятора автомобиля; τ_1 – время работы вентилятора при значении полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора равно k_1 , с.

Для нового значения полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора k_2 масса топлива, расходуемого на привод вентилятора составит:

$$m_{mb2} = \frac{g_e N_B \tau_2}{3600 \eta_{эд} \eta_{г}}. \quad (9)$$

где τ_2 – время работы вентилятора при значении полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора равном k_2 , с.

Тогда величина изменения расхода топлива в долях единицы относительно исходного состояния составит:

$$\Delta m_{mb} = \frac{m_{mb2}}{m_{mb1}} = \frac{\frac{g_e N_B \tau_2}{3600 \eta_{эд} \eta_{г}}}{\frac{g_e N_B \tau_1}{3600 \eta_{эд} \eta_{г}}} = \frac{g_e N_B \tau_2}{3600 \eta_{эд} \eta_{г}} \cdot \frac{3600 \eta_{эд} \eta_{г}}{g_e N_B \tau_1}. \quad (10)$$

После преобразований и с учетом выражения (7) получим выражение оценивающее изменения расхода топлива в долях единицы относительно исходного состояния:

$$\Delta m_{mb} = \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{k_1 \Delta t_1}{k_2 \Delta t_2}. \quad (11)$$

В таком случае расход топлива на привод вентилятора при k_2 с учетом выражений (9) и (11) составит:

$$m_{mb2} = \frac{g_e N_B \tau_1}{3600 \eta_{эд} \eta_{г}} \cdot \frac{k_1 \Delta t_1}{k_2 \Delta t_2}. \quad (12)$$

или с учетом (3):

$$m_{mb2} = \frac{g_e N_B \tau_1}{3600 \eta_{эд} \eta_{г}} \cdot \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \cdot \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^{0,8}. \quad (13)$$

Результаты исследования

Используя полученные выражений произведем оценку величины экономии топлива за счет изменения значения скорости прохождения воздуха через радиатор автомобиля, вызывающей рост значения полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора k . Расчет будем вести по данным автомобиля ВАЗ-2110.

Допустим, что разности Δt_1 и Δt_2 равны между собой, тогда выражение (12) упрощится к виду:

$$m_{mb2} = \frac{g_e N_B \tau_1 k_1}{3600 \eta_{эд} \eta_{г} k_2}. \quad (14)$$

Для расчета принимали: $g_c = 300$ г/кВт·ч; $N_B = 0,18$ кВт; $\eta_{эд} = 0,9$; $\eta_r = 0,6$ [12]. Время работы вентилятора равно 1 часу, а изменение отношения коэффициентов k_1/k_2 изменяли от 0,1 до 1 с шагом в 0,1. По результатам расчета построили график (рисунок 2).

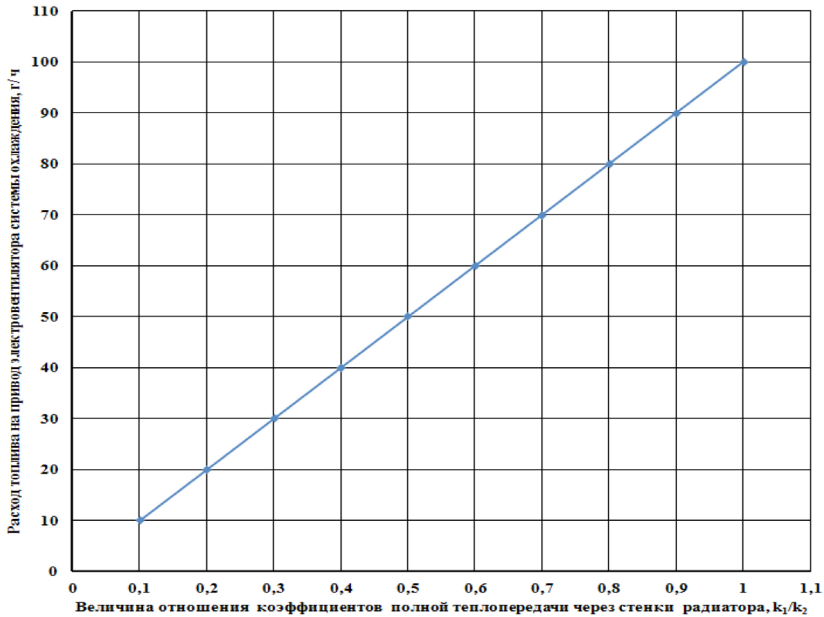


Рис. 2. Влияние отношения k_1/k_2 на величину расхода топлива на привод вентилятора системы охлаждения

Из рисунка 2 видно, что при исходном состоянии при значении полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора $k = k_1$ расход топлива на привод вентилятора составляет 100 грамм в час. Уменьшение отношения k_1/k_2 на каждые 10% ведет к снижению расхода топлива на привод электровентилятора на 10 грамм в час для рассматриваемого случая. Для увеличения коэффициента k_2 на 10% ($k_1/k_2 = 0,9$) необходим прирост скорости воздушного потока на 13,15%, а для увеличения коэффициента k_2 на 50% ($k_1/k_2 = 0,5$) нужен прирост скорости воздушного потока уже на 81,6%. Таким образом, подтверждается положительное влияние повышения ско-

рости воздушного потока, проходящего через радиатор, на снижение расхода топлива автомобилем.

Заключение

Проведенные теоретические исследования по изучению влияния скорости воздушного потока, протекающего через радиатор, на расход топлива двигателем автомобиля, наглядно показывают целесообразность ее увеличения с этой точки зрения. Экономия топлива будет достигаться за счет уменьшения времени работы привода вентилятора, что обеспечивается ростом значения полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора, величина которого прежде всего зависит от скорости воздушного потока. Повысить скорость потока воздуха, без увеличения мощности на привод вентилятора можно за счет снижения аэродинамических сопротивлений воздушного тракта системы охлаждения автомобиля. В частности этого можно достичь улучшая условия выхода воздушного потока из радиатора [11]. При этом надо учитывать конструктивные особенности воздушного тракта конкретного автомобиля, прежде всего это наличие кожуха вентилятора, его расположение и расстояние от вентилятора до двигателя автомобиля. Для изучения рациональности и возможности увеличения скорости воздушного потока через радиатор, путем совершенствования аэродинамических характеристик воздушного тракта автомобиля необходимо провести дополнительные исследования по определению фактических значений и распределения векторов скоростей воздушного потока перед радиатором и влияния на них условий выхода воздуха из него [12].

Список литературы

1. Автомобильные двигатели: учебник / В. М. Архангельский, М. М. Вихерт, Л. Н. Воинов, Ю. А. Степанов, В. И. Трусов, М. С. Ховах [Под ред. М. С. Ховаха]. М.: «Машиностроение», 1977. 591 с.
2. Автомобильные и тракторные двигатели (теория, системы питания, конструкции и расчет) И. М. Ленин, К. Г. Попык, О. М. Ма-

- лашкин, И. Я. Райков, Г. И. Самоль, К. И. Сидорин [Под ред. И. М. Ленина]. М.: Высшая школа, 1969. 655 с.
3. Бурков В. В., Индейкин А. И. Автотракторные радиаторы: справочное пособие. Л.: Машиностроение, 1978. 216 с.
 4. Гончаров А. В. Выбор рациональных параметров конструкции и режимов работы блока «радиатор-вентилятор» системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания автомобиля // Вестник Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. 2007. № 6 (112). С. 108-112.
 5. Гончаров А. В., Верховодов А.А. Совершенствование блока «радиатор-вентилятор» охлаждающих устройств двигателей легковых автомобилей // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник трудов конференции [Под ред. В.И. Рассоха]. Оренбург, 2015. С. 215-224.
 6. ГОСТ 529-2015 Трубки радиаторные. Технические условия: межгосударственный стандарт: дата введения 01.04.2016 / Федеральное агентство по техническому регулированию. М.: Стандартинформ, 2015. 14 с.
 7. Двигатели внутреннего сгорания. Книга 2. Динамика и конструирование: учебник для вузов/В. Н. Луканин, И. В. Алексеев, М. Г. Шатров и др. [Под ред. В. Н. Луканина, М. Г. Шатрова]. М.: Высшая школа, 2007. 400 с.
 8. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2008. 496 с.
 9. Конструкция и расчет автотракторных двигателей: учебник для вузов / М. М. Вихерт, Р. П. Доброгаев, М. И. Ляхов, А. В. Павлов, М. П. Соловьев, Ю. А. Степанов, В. Г. Суворов [Под ред. Ю. А. Степанова]. М.: Машиностроение, 1964. 552 с.
 10. Толстоногов А.П. Системы охлаждения поршневых двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие. Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2002. 208 с.
 11. Шипилов А.А. Обзор и анализ конструкций систем принудительного охлаждения радиаторов легковых автомобилей // Фундамен-

- тальные и прикладные научные исследования: инновационный потенциал развития: сборник трудов конференции / Под редакцией А.Р. Халикова. Уфа, 2019. Ч. 1. С. 133-140
12. Шипилов А.А., Хольшев Н.В. Методика и результаты экспериментального определения скорости воздушного потока перед радиатором системы охлаждения автомобиля // Инновационный потенциал развития науки в современном мире: сборник трудов конференции / Под ред. А.Р. Халикова. Уфа, 2019. Ч.2. С. 139-146
 13. Шипилов А.А., Хольшев Н.В. Обзор способов регулирования интенсивности охлаждения радиатора двигателя автомобиля// Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сборник трудов конференции / Под ред. Л.Л. Зиманова. М., 2019. С. 168 - 171
 14. Якубович А. И., Кухаренок Г. М., Тарасенко В. Е. Системы охлаждения двигателей тракторов и автомобилей. Исследования, параметры и показатели: монография. Минск: БНТУ, 2014. 300 с.
 15. Jack T. K., Ojapah M. M. Water-cooled petrol engines: a review of considerations in cooling systems calculations with variable coolant density and specific heat // International Journal of Advances in Engineering and Technology. 2013. No. 6 (2). P. 659-667.
 17. Ma W. S., Shen W. X., Zhang L.W. Heat rejection efficiency research of new energy automobile radiators // IOP Conference Series: Materials Science AND Engineering. 2018. No. 324. P. 1-11.
 18. Mounika P., Sharma R. K., Kishore P. S. Performance Analysis of Automobile Radiator // International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering (IJRMEE). 2019. No. 3. P. 35-38.
 19. Palani S., Irudhayaraj R., Vigneshwaran R., Selvam M., Harish K. A. Study of Cooling System in I.C. Engine Improving Performance with Reduction of Cost // Indian Journal of Science and Technology. 2016. No. 9 (1). P. 1-8.
 20. Virale A. G., Nitnaware P. T. Experimental analysis of jacket cooling of S I engine and study of operating parameters and emissions // International Journal of Advances in Engineering and Technology. 2017. No. 10. P. 113-121.

References

1. Arhangel'skij V.M., Vihert M.M., Voinov L.N., Stepanov Ju.A., Trusov V.I., Hovah M.S. *Avtomobil'nye dvigateli* [Automobile engines] / M.S. Hovah (ed.). M., 1977, 591 p.
2. Lenin I.M., Popyk K.G., Malashkin O.M., Raikov I.Ya., Samol G.I., Sidorin K.I. *Avtomobil'nye i traktornye dvigateli (teorija, sistemy pitani-ja, konstrukcii i raschet)* [Automobile and tractor engines (theory, power systems, designs and calculation)] / [I.M. Lenin (ed.). M, 1969, 655 p.
3. Burkov V. V., Indeykin A. I. *Avtotraktornye radiatory: spravochnoe posobie* [Avtotraktornye radiatory: reference manual]. L., 1978, 216 p.
4. Goncharov A.V. Vybór racional'nyh parametrov konstrukcii i rezhi-mov raboty bloka «radiator-ventiljator» sistemy ohlazhdenija dvigatel-ja vnutrennego sgoranija avtomobilja [Selection of rational design parameters and operating modes of the radiator-fan unit of the car internal combustion engine cooling system]. *Vestnik Vostochnoukrainskogo nacional'nogo universiteta im. V. Dalja*. [Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after V. Dahl], 2007, no. 6 (112), pp. 108-112.
5. Goncharov A.V., Verkhovodov A. A. Sovershenstvovanie bloka “radi-ator-ventiljator” ohlazhdajushhih ustrojstv dvigatelej legkovyh avto-mobilej [Verkhovodov Improvement of the block “radiator-fan” of cooling devices of passenger car engines]. *Progressivnye tehnologii v transportnyh sistemah* [Progressive technologies in transport systems: collection of conference proceedings] / V.I. Rassoha (ed.). Orenburg, 2015, pp. 215-224
6. *GOST 529-2015. Trubki radiatornye. Tehniceskie uslovija* [GOST 529-2015. Radiator tubes. Technical conditions]. M., 2015, 14 p.
7. Lukanin V.N., Alekseev I.V., Shatrov M.G., etc. *Dvigateli vnutrennego sgoranija. Kniga 2. Dinamika i konstruirovanie* [Internal combustion engines. Book 2. Dynamics and construction]. [V. N. Lukanin, M. G. Shatrov (ed.)]. M., 2007, 400 p.
8. Kolchin A. I., Demidov V. P. *Raschet avtomobil'nyh i traktornyh dvi-gatelej* [Calculation of automobile and tractor engines: textbook for universities]. M., 2008, 496 p.

9. Vihert M.M., Dobrogaev R.P., Lyakhov M.I., Pavlov A.V., Sokolov M.P., Stepanov Yu.A., Suvorov V.G. *Konstrukcija i raschet avtotraktorih dvigatelej* [Design and calculation of automotive engines] / Yu. A. Stepanov (ed.). M., 1964, 552 p.
10. Tolstonogov A.P. *Sistemy ohlazhdenija porshnevnyh dvigatelej vnutrennego sgoranii* [Cooling systems of internal combustion piston engines]. Samara, 2002, 208 p.
11. Shipilov A.A. Obzor i analiz konstrukcij sistem prinuditel'nogo ohlazhdenija radiatorov legkovykh avtomobilej [Review and analysis of structures of forced cooling systems for passenger car radiators]. *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovanija* [Fundamental and applied research: innovative development potential]. [A. R. Khalikov (ed.)]. Ufa, 2019, part 1, pp. 133-140.
12. Shipilov A.A., Kholshev N.V. Metodika i rezul'taty jeksperimental'nogo opredelenija skorosti vozdušnogo potoka pred radiatorom sistemy ohlazhdenija avtomobilja [Methodology and results of the experimental determination of the air flow rate in front of the radiator of the car cooling system]. *Innovacionnyj potencial razvitija nauki v sovremenom mire* [Innovative potential for the development of science in the modern world] / A. R. Khalikov (ed.). Ufa, 2019, part 2, pp. 139-146.
13. Shipilov A.A., Kholshev N.V. Obzor sposobov regulirovanija intensivnosti ohlazhdenija radiatora dvigatelja avtomobilja [Review of methods for regulating the cooling intensity of the car engine radiator]. *Problemy tehničeskoj jekspluatacii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta* [Problems of technical operation and car service of rolling stock of motor transport] / L. L. Zimanov (ed.). M., 2019, pp. 168-171.
14. Yakubovich A. I., Kukharenok G.M., Tarasenko V.E. *Sistemy ohlazhdenija dvigatelej traktorov i avtomobilej. Issledovanija, parametry i pokazateli* [Cooling systems of engines of tractors and cars. Research, parameters and indicators]. Minsk, 2014, 300 p.
15. Jack T.K., Ojapah M.M. Water-cooled petrol engines: a review of considerations in cooling systems calculations with variable coolant density and specific heat. *International Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2013, no. 6 (2), pp. 659-667.

17. Ma W. S., Shen W. X., Zhang L. W. Heat rejection efficiency research of new energy automobile radiators. *IOP Conference Series: Materials Science AND Engineering*, 2018, no. 324, pp. 1-11.
18. Mounika P., Sharma R. K., Kishore P. S. Performance Analysis of Automobile Radiator . *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering (IJRMEE)*, 2019, no. 3, pp. 35-38.
19. Palani S., Irudhayaraj R., Vigneshwaran R., Selvam M., Harish K. A. Study of Cooling System in I.C. Engine Improving Performance with Reduction of Cost. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, no. 9 (1), pp. 1-8.
20. Virale A. G., Nitnaware P. T. Experimental analysis of jacket cooling of S I engine and study of operating parameters and emissions. *International Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2017, no. 10, pp. 113-121.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Хольшев Николай Васильевич, доцент кафедры «Техника и технологии автомобильного транспорта», кандидат технических наук

*Тамбовский государственный технический университет
ул. Советская, 106, г. Тамбов, Тамбовская область, 392000,
Российская Федерация
xhb@live.ru*

Коновалов Дмитрий Николаевич, доцент кафедры «Техника и технологии автомобильного транспорта», кандидат технических наук

*Тамбовский государственный технический университет
ул. Советская, 106, г. Тамбов, Тамбовская область, 392000,
Российская Федерация
kdn1979dom@mail.ru*

Лавренченко Анатолий Александрович, доцент кафедры «Техника и технологии автомобильного транспорта», кандидат технических наук

*Тамбовский государственный технический университет
ул. Советская, 106, г. Тамбов, Тамбовская область, 392000,
Российская Федерация
anatoliy_658@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Nikolai V. Kholshv, Associate Professor of the Department of Road Transport Technology and Technology, Candidate of Technical Sciences
*Tambov State Technical University
106, Sovetskaya Str., Tambov, Tambov region, 392000, Russian Federation
xhb@live.ru*

Dmitry N. Konovalov, Associate Professor of the Department of Road Transport Technology and Technology, Candidate of Technical Sciences
*Tambov State Technical University
106, Sovetskaya Str., Tambov, Tambov region, 392000, Russian Federation
kdn1979dom@mail.ru*

Anatoly A. Lavrenchenko, Associate Professor of the Department of Road Transport Technology and Technology, Candidate of Technical Sciences
*Tambov State Technical University
106, Sovetskaya Str., Tambov, Tambov region, 392000, Russian Federation
anatoliy_658@mail.ru*