

УДК 629.015; 629.3.018.2

© Н. В. Хольшев, канд. техн. наук, доцент
© Д. Н. Коновалов, канд. техн. наук, доцент
© С. М. Ведищев, д-р техн. наук, профессор
© А. В. Милованов, канд. техн. наук, доцент
(Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия)
E-mail: xhb@live.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-5-143-149

© N. V. Holshev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© D. N. Konovalov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© S. M. Vedishchev, Dr. Sci. Tech., Professor
© A. V. Milovanov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)
E-mail: xhb@live.ru

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ ОТ ПРЕПЯТСТВИЯ ДО ВЫХОДНОГО ПАТРУБКА КОЖУХА ВЕНТИЛЯТОРА РАДИАТОРА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

INFLUENCE OF THE DISTANCE FROM AN OBSTACLE TO THE OUTLET PIPE OF THE RADIATOR FAN CASE OF THE AUTOMOTIVE ENGINE COOLING SYSTEM ON THE DISTRIBUTION OF AIR FLOW

Приведены методика и результаты исследования влияния расстояния от препятствия до среза выходного патрубка кожуха вентилятора системы охлаждения автомобильного двигателя на характер распределения воздушного потока перед радиатором. Исследования производились на специально изготовленной лабораторной установке, обеспечивающей измерение скорости воздушного потока в фиксированных точках перед радиатором. В результате исследований получены поверхности отклика, описывающие распределение воздушного потока перед радиатором при разных расстояниях от препятствия до выходного патрубка кожуха вентилятора. На их основании определено оптимальное расстояние до препятствия, обеспечивающее наиболее равномерный обдув радиатора.

Ключевые слова: автомобильный радиатор, электровентилятор, воздушный поток, система охлаждения двигателя.

The article presents the methodology and results of the study of the influence of the distance from the obstacle to the cut of the outlet pipe of the fan case of the cooling system of the automobile engine on the nature of the air flow distribution in front of the radiator. The studies were carried out on a specially made laboratory installation that provides measurement of the air flow velocity at fixed points in front of the radiator. As a result of the research, there were obtained response surfaces that describe the distribution of the air flow in front of the radiator at different distances from the obstacle to the outlet of the fan case. On this basis, there was determined the optimal distance from the obstacle, which provides the most uniform radiator blowing.

Keywords: car radiator, electric fan, air flow, engine cooling system.

Совершенствование конструкций двигателей внутреннего сгорания направлено прежде всего на улучшение их эксплуатационных показателей, одним из которых является расход топлива. Снижение расхода топлива актуально из-за постоянного роста его стоимости и необходимости снижения вредных выбросов. Одним из путей уменьшения расхода топлива двигателем автомобиля является сокращение времени работы вспомогательного оборудования авто-

мобиля. К такому оборудованию можно отнести и электровентилятор системы охлаждения двигателя. Время его работы непосредственно влияет на увеличение расхода топлива. Уменьшить это время можно разными способами [14–16], в том числе путем улучшения аэродинамических характеристик воздушного тракта системы охлаждения автомобиля [4, 10, 11, 13]. Для целенаправленного изменения его параметров необходимо знать характер распределения скоростей

воздушного потока перед радиатором автомобиля. В существующих литературных источниках чаще приводятся усредненные значения без привязки к конкретным точкам радиатора [1–3, 5–9, 12], нет данных о влиянии различных элементов воздушного тракта на распределение скоростей воздушного потока перед радиатором. Проведенные ранее нами экспериментальные исследования позволили определить характер распределения воздушного потока перед радиатором при различных значениях питающего напряжения и его влияние на скорость воздушного потока, то есть исходное состояние распределения воздушного потока перед радиатором [10].

В реальных условиях эксплуатации непосредственно за радиатором системы охлаждения располагается двигатель с навесным оборудованием, который препятствует свободному выходу

воздуха из кожуха радиатора, замедляя его. Поэтому следующим этапом экспериментальных исследований стало определение характера распределения воздушного потока перед радиатором при наличии препятствия за кожухом радиатора на различных расстояниях. Исследования проводились на лабораторной установке (рис. 1), к которой дополнительно с тыльной стороны устанавливался щит, имитирующий препятствие (двигатель) (рис. 2) [10]. Щит 2 крепится к столу 1 установки и может располагаться на различном расстоянии от среза кожуха вентиляторной установки 3. Для экспериментов использовался радиатор ВА3-2110 в сборе с вентиляторной установкой.

Вся площадь радиатора разбита при помощи ниток — горизонтальных и вертикальных — на ячейки, образовав тем самым прямоугольную

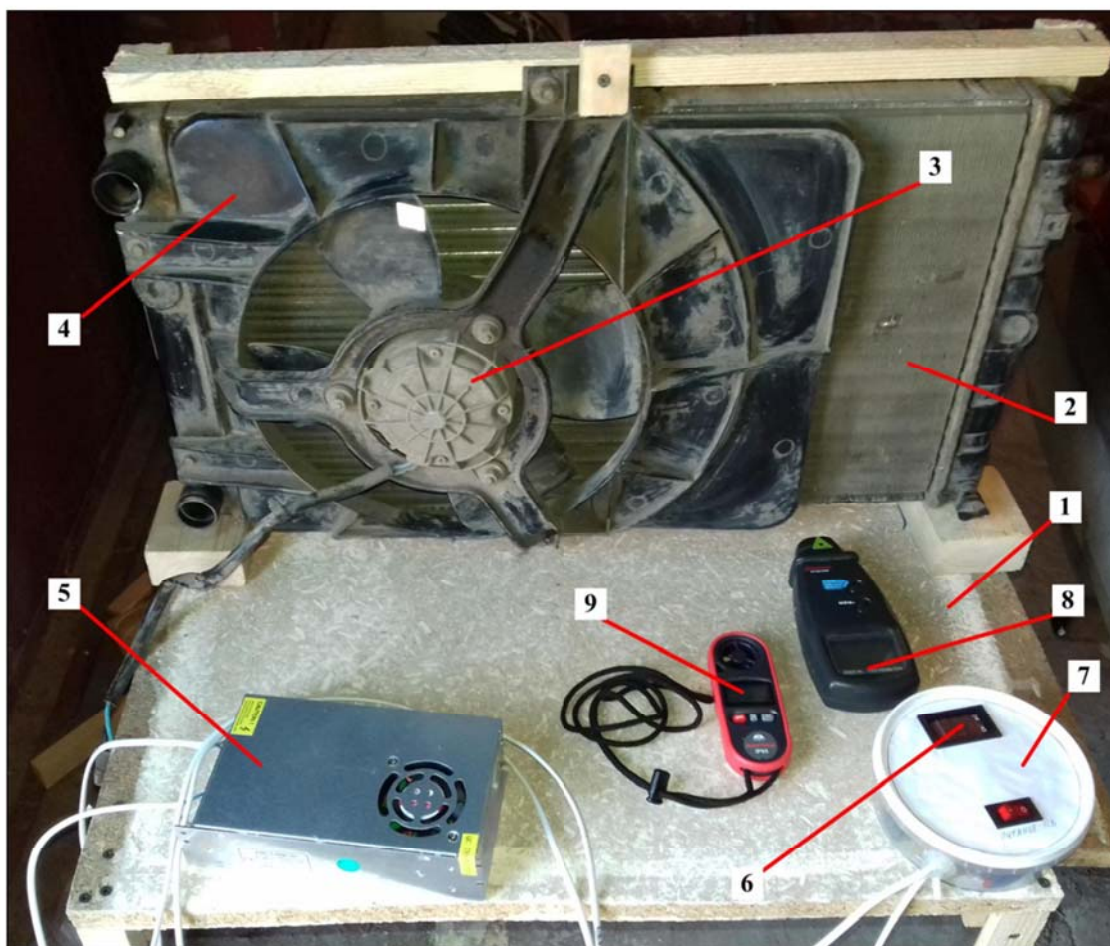


Рис. 1. Общий вид лабораторной установки: 1 — стол; 2 — радиатор; 3 — электровентилятор; 4 — кожух вентилятора; 5 — блок питания; 6 — амперметр-вольтметр; 7 — пульт управления; 8 — тахометр (Sinometr DT 6236B); 9 — анемометр-термометр (ADA AeroTemp A00546)

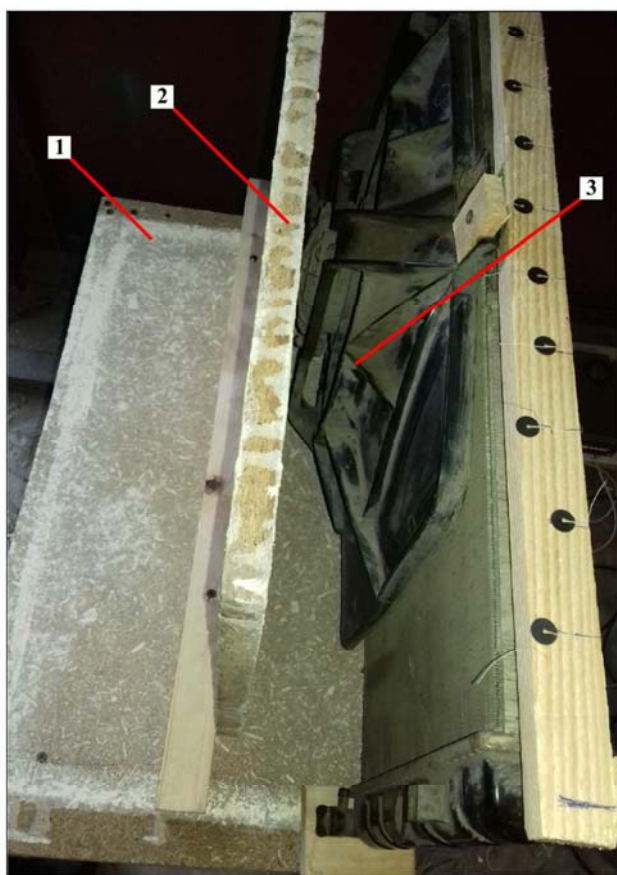


Рис. 2. Лабораторная установка с установленным щитом

систему координат (рис. 3). Сетка располагается от радиатора на расстоянии 20 мм. Ячейки квадратные, шаг — 50 мм [10].

Замеры производились в местах пересечения горизонтальных и вертикальных ниток (см. рис. 3), каждое пересечение имеет обозначение, состоящее из двух цифр: первая — номер вертикальной нити, а вторая — номер горизонтальной нити, разделенные дефисом [10]. Измерения выполнялись при размещении центра анемометра в точке пересечения нитей, при номинальном напряжении, равном 12 В. Расстояние от щита до среза изменялось с шагом в 20 мм до 80 мм. Фактическое минимальное расстояние от среза выходного патрубка вентилятора составило 50 мм из-за выступающего корпуса мотора вентилятора. Температура воздуха при измерениях составила 13,7 °С [8].

Последовательность измерений была следующей. Сначала было получено распределение воздушного потока перед радиатором без препятствий на выходе из кожуха вентилятора. Для этого щит был снят, после запуска вентилятора было скорректировано питающее напряжение до номинального при помощи корректирующего винта в блоке питания, а затем проведены из-

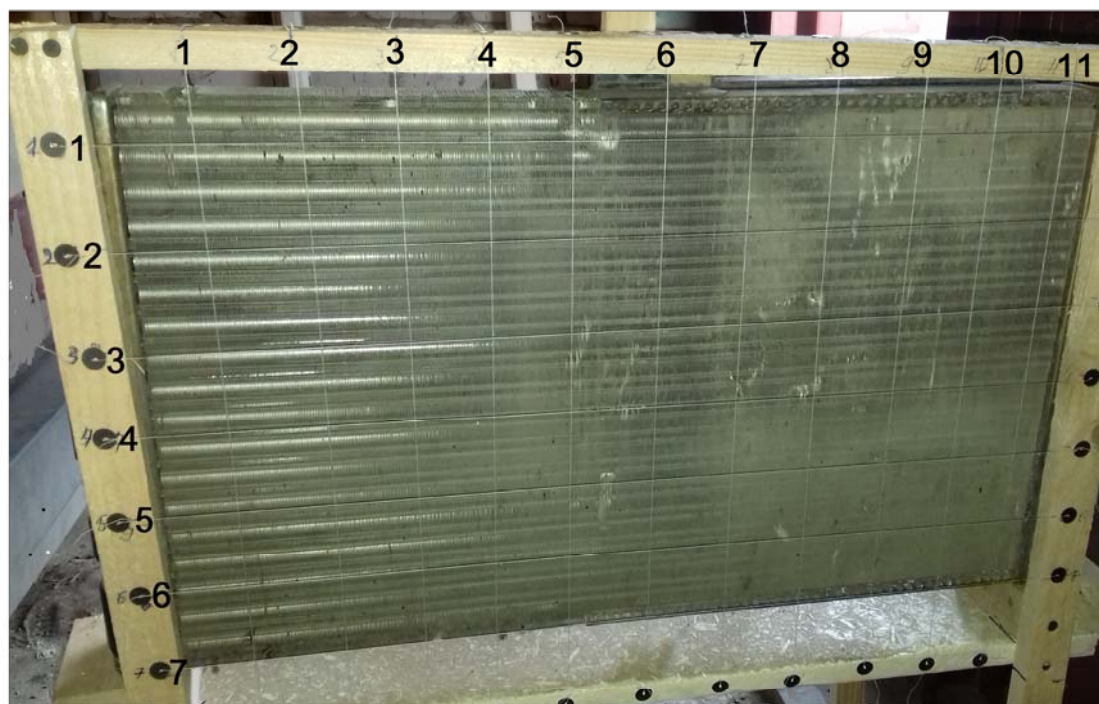


Рис. 3. Координатная сетка

мерения. Все остальные измерения проводились с установленным щитом. После установки щита в нужное положение и его фиксации осуществлялся запуск вентилятора и при необходимости корректировалось питающее напряжение. После стабилизации частоты вращения ротора вентилятора осуществлялся замер значений скорости во всех точках координатной сетки с записью в специальный бланк. Параллельно фиксировался потребляемый ток. Повторность всех испытаний — трехкратная. Затем выключался вентилятор, выставлялось следующее расстояние до щита и повторялись приведенные выше действия.

После выполнения измерений была произведена обработка результатов. На их основании были построены аппроксимирующие поверхности отклика в линиях уровня (рис. 4–9), при помощи программы Statistica 7 получены соответствующие им уравнения регрессии.

Анализ полученных поверхностей показывает, что при отсутствии препятствий (см. рис. 4) на выходе экстремум функции приходится на точку (3-9), располагающуюся ниже центра вентилятора, а поверхность носит параболический характер, изолинии по форме овальные. При наличии препятствия на расстоянии 50 мм от среза патрубка вентилятора экстремум поверхности смещается к верхнему правому углу радиатора, ближе к подводющему патрубку и приходится примерно на точку (6-9), скорость потока локально увеличена до 2,7 м/с, но снижается площадь обдува радиатора с усредненной скоростью более 2 м/с. Изолинии имеют вид эллипса, развернутого относительно исходного состояния (см. рис. 5) на 90° .

При расстоянии до препятствия 70 мм (см. рис. 6) изменяется вид поверхности. Она имеет седловидный характер. Экстремум поверхности находится за пределами радиатора. Максимальные значения скорости воздушного потока смещены к верхнему правому краю радиатора, что недостаточно эффективно при охлаждении. Смещение высоких скоростей потока воздуха к краю радиатора вызвано наиболее свободным истечением в этой зоне. Также при замерах бы отмечен пульсирующий характер воздушного потока со значительным колебанием значений.

Увеличение расстояния до препятствия до 90 мм ведет к смещению максимума к точке (4-9) (см. рис. 7), что обеспечивает наиболее равномерный обдув поверхности радиатора. Форма изолиний — овальная с поворотом большей оси эллипса на 90° относительно исходного состояния. В этом случае обеспечивается наличие воздушного потока в третьем ряду координатной сетки. Скорость потока снижена примерно на 10 %.

При расстоянии 110 мм до препятствия форма линий уровня имеет также эллипсоидную форму, размещение максимума (точка (3-8,5)) близко к продувке без препятствия (см. рис. 8). При расстоянии до щита 130 мм экстремум функции, описывающей поверхность, смещается к точке (1-8,5), скорость потока по максимальному значению близка к свободному истечению, формы изолиний приближаются к окружности (см. рис. 9).

Дополнительно для анализа полученных результатов были измерены площади, приходящиеся на области со скоростью потока более 2 м/с. Измерения производились в программе «Компас 3D V16» путем выделения соответствующих областей и измерения их площади встроенными средствами программы. Полученные значения корректировались при помощи горизонтального и вертикального поправочных коэффициентов, получаемых делением фактического размера ячейки на ее величину, измеренную в программе. В результате было установлено, что наименьшие площади обдува с заданными характеристиками соответствуют расстоянию от щита, равному 110 и 130 мм, соответственно на 27 и 37 % меньше, чем при свободном истечении. При расстоянии от щита 70 мм площадь немного больше исходного состояния — на 2 %, а при 90 мм — меньше всего на 6,5 %.

По результатам проведенных исследований можно предположить, что минимальное расстояние до препятствия (двигателя) в нашем случае для минимальных потерь скорости потока и равномерного его распределения должно быть равно 90 мм, то есть фактически от корпуса мотора до препятствия должно быть не менее 40 мм. При расстоянии более 90 мм значения скорости воздушного потока значительно не изменяются, а характер их распределения стремится к виду,

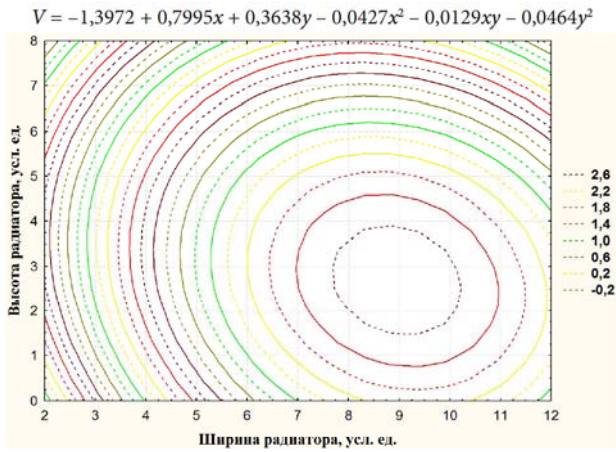


Рис. 4. Распределение воздушного потока перед радиатором без препятствий на выходе

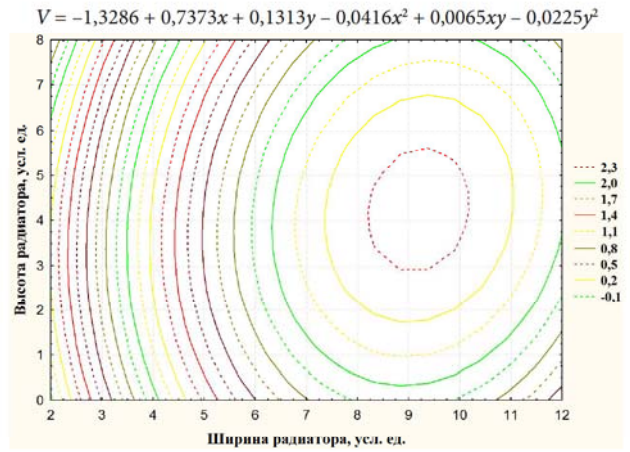


Рис. 7. Распределение воздушного потока перед радиатором (препятствие на расстоянии 90 мм от среза выходного патрубка)

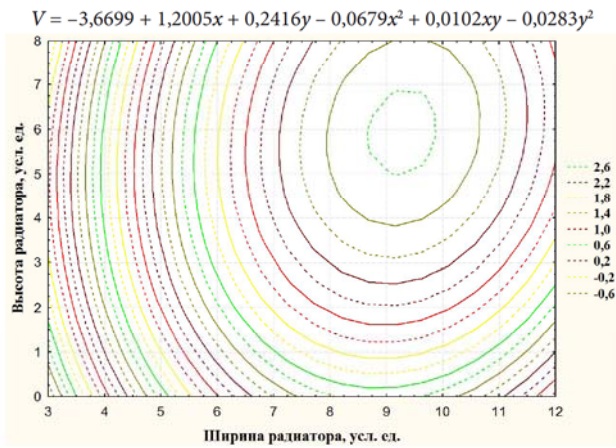


Рис. 5. Распределение воздушного потока перед радиатором (препятствие на расстоянии 50 мм от среза выходного патрубка)

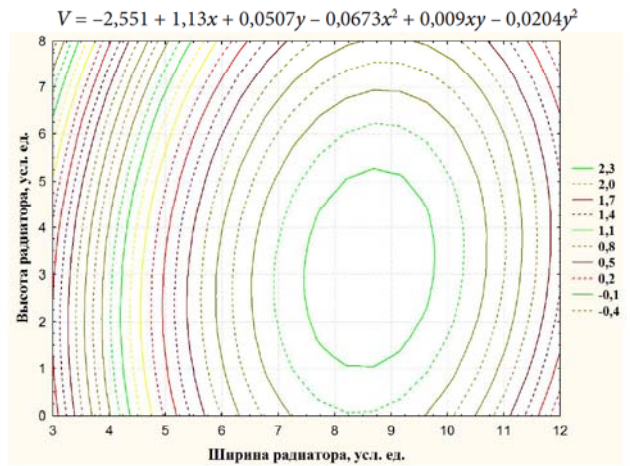


Рис. 8. Распределение воздушного потока перед радиатором (препятствие на расстоянии 110 мм от среза выходного патрубка)

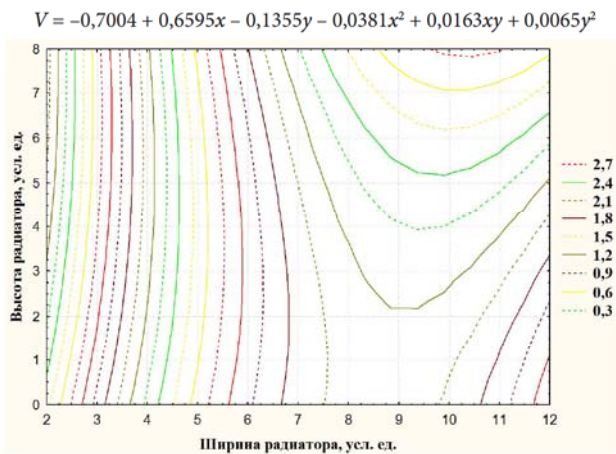


Рис. 6. Распределение воздушного потока перед радиатором (препятствие на расстоянии 70 мм от среза выходного патрубка)

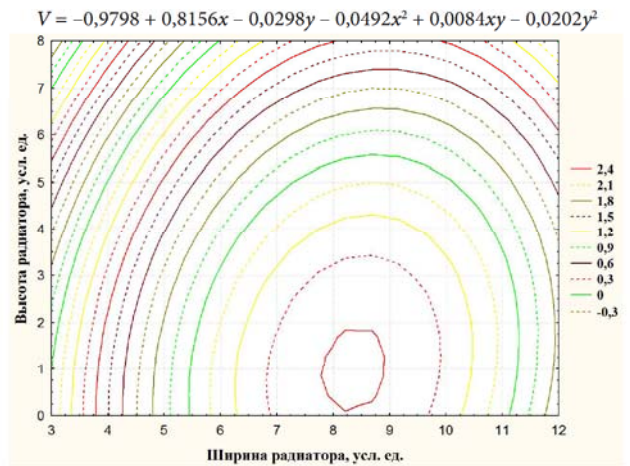


Рис. 9. Распределение воздушного потока перед радиатором (препятствие на расстоянии 130 мм от среза выходного патрубка)

полученному при продувке без препятствий. Чрезмерное увеличение расстояния между кожухом вентилятора и двигателем приведет к увеличению размеров моторного отсека и ухудшению условий обдува воздухом самого двигателя. Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение условий выхода воздуха из кожуха вентилятора, что позволит уменьшить падение его скорости и снизить завихрения воздушного потока.

Библиографический список

1. Архангельский В. М., Вихерт М. М., Воинов А. Н., Степанов Ю. А., Трусов В. И., Ховах М. С. Автомобильные двигатели / под ред. М. С. Ховаха. М.: Машиностроение, 1977. 591 с.
2. Ленин И. М., Попык К. Г., Малашкин О. М., Райков И. Я., Самоль Г. И., Сидорин К. И. Автомобильные и тракторные двигатели (теория, системы питания, конструкции и расчет) / 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 Восточно-украинского нац. ун-та им. В. Даля. 2007. № 6 (112). С. 108–112.
5. Луканин В. Н., Алексеев И. В., Шатров М. Г. и др. Двигатели внутреннего сгорания. М.: Высшая школа, 2007. Кн. 2. Динамика и конструирование. 400 с.
6. Колчин А. И., Демидов В. П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. 4-е изд. М.: Высшая школа, 2008. 496 с.
7. Вихерт М. М., Доброгаев Р. П., Ляхов М. И., Павлов А. В., Соловьев М. П., Степанов Ю. А., Суворов В. Г. Конструкция и расчет автотракторных двигателей / под ред. Ю. А. Степанова. М.: Машиностроение, 1964. 552 с.
8. Поспелов Д. Р. Двигатели внутреннего сгорания с воздушным охлаждением (теория и расчет). 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1971. 536 с.
9. Толстоногов А. П. Системы охлаждения поршневых двигателей внутреннего сгорания. Самара: Самарский гос. аэрокосмический ун-т, 2002. 208 с.
10. 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: сб. ст. по ма-

тер. междунар. науч.-практ. конф. Уфа: НИЦ «Вестник науки», 2019. Ч. 2. С. 111–117.

11. Шипилов А. А., Хольшев Н. В. Обзор способов регулирования интенсивности охлаждения радиатора двигателя автомобиля // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. тр. кафедры ЭАТиС. М.: Техполиграфцентр, 2019. С. 168–171.

12. Якубович А. И., Кухаренок Г. М., Тарасенко В. Е. Системы охлаждения двигателей тракторов и автомобилей. Исследования, параметры и показатели. Минск: БНТУ, 2014. 298 с.

13. Kulkarni C., Deshpande M. D., Umesh S., Raval C. Underhood Flow Management of Heavy Commercial Vehicle to Improve Thermal Performance // SASTech Journal. 2012. Vol. 11, Iss. 1. Pp. 10–16.

14. Mounika P., Sharma R. K., Kishore P. S. Performance Analysis of Automobile Radiator // International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering. 2019. Vol. 3, Iss. 5. Pp. 35–38.

15. 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. № 9 (1). Pp. 1–8.

16. Parashurama M., Dhananjaya D., Naveena Kumar R. Experimental Study of Heat Transfer in a Radiator using Nanofluid // International Journal of Engineering Development and Research. 2015. Vol. 3. Iss. 2. Pp. 307–311.

References

1. Arkhangel'skiy V. M., et al. *Avtomobil'nye dvigateli* [Automobile engines]. Ed. by Khovakh M. S. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977, 591 p.
2. Lenin I. M., et al. *Avtomobil'nye i traktornye dvigateli (teoriya, sistemy pitaniya, konstruksii i raschet)* [Automobile and tractor engines (theory, power systems, designs and calculation)]. Ed. by Lenin I. M. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1969, 655 p.
3. Burkov V. V., Indeykin A. I. *Avtotraktornye radiatory: spravochnoe posobie* [Automotive radiators. Reference manual]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1978, 216 p.
4. Goncharov A. V. *Vybor ratsional'nykh parametrov konstruksii i rezhimov raboty bloka «radiator-ventilyator» sistemy okhlazhdeniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya avtomobilya* [Choosing of rational design parameters and operating modes of the radiator-fan unit of the car internal combustion engine cooling system]. *Vestnik Vostochnoukrainskogo nats. un-ta im. V. Dalya – Bulletin of the East Ukrainian National University named after V. Dahl*, 2007, no. 6 (112), pp. 108–112.

5. Lukanin V. N., et al. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Internal combustion engines]. Book 2. *Dinamika i konstruirovaniye* [Dynamics and design]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2007, 400 p.
6. Kolchin A. I., Demidov V. P. *Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigateley* [Calculation of automobile and tractor engines]. 4-th ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2008, 496 p.
7. Vikhert M. M., et al. *Konstruksiya i raschet avtotraktornykh dvigateley* [Design and calculation of automotive engines]. Ed. by Stepanov Yu. A. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1964, 552 p.
8. Pospelov D. R. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya s vozdushnym okhlazhdeniem (teoriya i raschet)* [Air-cooled internal combustion engines (theory and calculation)]. 2-nd ed., revised. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971, 536 p.
9. Tolstonogov A. P. *Sistemy okhlazhdeniya porshnevnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Cooling systems of reciprocating internal combustion engines]. Samara, Samarskiy gos. aerokosmicheskiy un-t Publ., 2002, 208 p.
10. Shipilov A. A., Khol'shev N. V. *Metodika i rezul'taty eksperimental'nogo opredeleniya skorosti vozdušnogo potoka pered radiatorom sistemy okhlazhdeniya avtomobilya* [Methods and results of experimental determination of the air flow velocity in front of the radiator of the car cooling system]. *Trudy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Innovatsionniy potentsial razvitiya nauki v sovremennom mire»* [Proceedings of the International scientific and practical conference "Innovative potential of science development in the modern world"]. Ufa, NITs Vestnik nauki – Ufa, SRC Bulletin of Science, 2019, pt. 2, pp. 111–117.
11. Shipilov A. A., Khol'shev N. V. *Obzor sposobov regulirovaniya intensivnosti okhlazhdeniya radiatora dvigatelya avtomobilya* [Review of methods for regulating the cooling intensity of a car engine radiator]. *Trudy kafedry EATiS «Problemy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta»* [Proceedings of the Department of EATiS "Problems of technical operation and car service of rolling stock of motor transport"]. Moscow, Tekhpologitsentr Publ., 2019, pp. 168–171.
12. Yakubovich A. I., Kukharenek G. M., Tarasenko V. E. *Sistemy okhlazhdeniya dvigateley traktorov i avtomobiley. Issledovaniya, parametry i pokazateli* [Engine cooling systems of tractors and cars. Research, parameters and indicators]. Minsk, BNTU Publ., 2014, 298 p.
13. Kulkarni C., Deshpande M. D., Umesh S., Raval C. Underhood Flow Management of Heavy Commercial Vehicle to Improve Thermal Performance. *SASTech Journal*, 2012, vol. 11, iss. 1, pp. 10–16.
14. Mounika P., Sharma R. K., Kishore P. S. Performance Analysis of Automobile Radiator. *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering*, 2019, vol. 3, iss. 5, pp. 35–38.
15. Palani S., et al. 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.
16. Parashurama M., Dhananjaya D., Naveena Kumar R. Experimental Study of Heat Transfer in a Radiator using Nanofluid. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2015, vol. 3, iss. 2, pp. 307–311.