

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПЕРЕД РАДИАТОРОМ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Н. В. Хольшев<sup>1</sup>, Д. Н. Коновалов<sup>2</sup>, Ю. Е. Глазков<sup>3</sup>

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

<sup>1</sup> e-mail: xhb@live.ru

<sup>2</sup> e-mail: kdn1979dom@mail.ru

<sup>3</sup> e-mail: glazkov\_jura@zmail.ru

**Аннотация.** Рост экологических и экономических требований к эксплуатационным свойствам двигателей внутреннего сгорания вызывает необходимость их постоянного совершенствования. Одним из направлений совершенствования конструкции двигателей является улучшение показателей работы его системы охлаждения, которая определяет стабильность его теплового режима, от которого непосредственно зависят ресурс двигателя и показатели его работы. Повысить эффективность системы охлаждения можно, увеличив скорость воздушного потока, протекающего через радиатор и создаваемого вентилятором. Скорость потока можно увеличить путем снижения аэродинамических сопротивлений в воздушном тракте системы охлаждения двигателя. Для этого необходимо знать фактическое распределение скоростей воздушного потока перед радиатором в различных его точках. Целью данной работы являлось экспериментальное определение скоростей воздушного потока перед радиатором в различных его точках при разных значениях питающего напряжения. В соответствии с разработанной методикой исследований была изготовлена лабораторная установка, позволяющая разместить радиатор в сборе с вентиляторной установкой и определять скорость воздушного потока перед ним с привязкой к конкретным его точкам, измерять частоту вращения лопастей вентилятора и потребляемую его двигателем мощность. В результате экспериментальных исследований были построены аппроксимирующие поверхности отклика, описывающие распределение скоростей воздушного потока перед радиатором при различных значениях питающего напряжения, а также установлено влияние значений питающего напряжения на изменение величины потребляемой двигателем вентилятора мощности. В результате анализа полученных данных установлено, что небольшое снижение напряжения не уменьшает площадь обдува, но несколько снижает скорость воздушного потока, что может негативно сказаться на охлаждении самого двигателя потоком воздуха, выходящим из вентилятора.

Научную новизну данной работы составляют экспериментально полученные распределения значений скоростей воздушного потока перед радиатором и методика проведения исследований. Результаты исследований могут быть использованы для повышения эффективности работы вентиляторной установки системы охлаждения двигателя.

Направлением дальнейших исследований является изучение влияния на характер распределения и скорость воздушного потока сопротивлений на выходе из кожуха вентилятора радиатора.

**Ключевые слова:** автомобильный радиатор, скорость воздушного потока, электровентилятор системы охлаждения, потребляемая мощность.

**Для цитирования:** Хольшев Н. В., Коновалов Д. Н., Глазков Ю. Е. Экспериментальное определение распределения скорости воздушного потока перед радиатором системы охлаждения автомобиля // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 3. – С. 81–90. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-81.

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE AIR FLOW VELOCITY DISTRIBUTION IN FRONT OF THE RADIATOR OF A CAR COOLING SYSTEM

N. V. Kholshhev<sup>1</sup>, D. N. Konovalov<sup>2</sup>, Yu. E. Glazkov<sup>3</sup>

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

<sup>1</sup> e-mail: xhb@live.ru

<sup>2</sup> e-mail: kdn1979dom@mail.ru

<sup>3</sup> e-mail: glazkov\_jura@zmail.ru

**Abstract.** The growth of environmental and economic requirements for the performance properties of internal

combustion engines makes it necessary to constantly improve them. One of the ways to improve the design of engines is to improve the performance of its cooling system, which determines the stability of its thermal regime, on which the engine life and performance indicators directly depend. To increase the efficiency of the cooling system, you can increase the speed of the air flow flowing through the radiator and created by the fan. Flow velocity can be increased by reducing the aerodynamic drag in the air path of the engine cooling system. To do this, you need to know the actual distribution of air flow velocities in front of the radiator at its various points. The purpose of this work was to experimentally determine the air flow rates in front of the radiator at its various points at different values of the supply voltage. In accordance with the developed research methodology, a laboratory installation was developed that allows you to place the radiator assembly with the fan unit and determine the speed of the air flow in front of it with reference to its specific points, measure the speed of rotation of the fan blades and the power consumed by its engine. As a result of experimental studies, approximating response surfaces were constructed that describe the distribution of air flow velocities in front of the radiator at different values of the supply voltage, and the influence of the supply voltage values on the change in the amount of power consumed by the fan motor was established. As a result of the analysis of the data obtained, it was found that a slight decrease in voltage does not reduce the blowing area, but somewhat reduces the air flow rate, which can negatively affect the cooling of the engine itself by the air flow coming out of the fan.

The scientific novelty of this work is the experimentally obtained distributions of the values of the air flow velocity in front of the radiator and the research methodology. The research results can be used to improve the efficiency of the fan installation of the engine cooling system.

The direction of further research is to study the influence of the resistances at the outlet of the radiator fan casing on the distribution pattern and the air flow velocity.

**Key words:** car radiator, air flow rate, cooling fan, fuel consumption, power consumption.

**Cite as:** Kholoshev, N. V., Konovalov, D. N., Glazkov, Yu. E. (2021) [Experimental determination of the air flow velocity distribution in front of the radiator of a car cooling system]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 3, pp. 81–90. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-81.

### Введение

Ужесточение различных требований (прежде всего экологических и экономических) к эксплуатационным свойствам двигателей внутреннего сгорания вызывает постоянный поиск путей их совершенствования для обеспечения соответствия всем требованиям. Одним из направлений совершенствования является поиск и применение новых источников энергии для автомобильных двигателей с разработкой и внедрением принципиально новых их конструкций, а другим – совершенствование конструкции уже существующих двигателей внутреннего сгорания. Первое направление является наиболее перспективным, но и крайне трудо- и время затратным. В настоящее время некоторые ведущие иностранные автопроизводители (компания «Audi»<sup>1</sup>, концерн «Daimler»<sup>2</sup>) заявили об отказе от разработки новых двигателей внутреннего сгорания и переходе на разработку электродвигателей для использования в качестве силовых установок автомобилей. Но уже разработанные этими организациями двигатели внутреннего сгорания будут использоваться и совершенствоваться с целью повышения их экологичности, экономичности и надежности.

Эксплуатационные показатели и ресурс двигателя внутреннего сгорания во многом зависят от стабильности его теплового режима. За поддержание температуры двигателя непосредственно отвечает система охлаждения, составным элементом которой является электровентилятор. Повысить эффективность теплоотдачи тепла радиатором окружающей среде можно, увеличив значение полного коэффициента теплопередачи через стенки радиатора, зависящего, прежде всего, от скорости воздуха, протекающего через радиатор<sup>3</sup> [3, 4, 8]. Достичь этого можно несколькими способами [9, 11–15], одним из них является уменьшение аэродинамических сопротивлений воздушного тракта системы охлаждения автомобиля [1, 2, 5, 7, 10]. Для оценки влияния параметров воздушного тракта автомобиля на скорость воздушного потока необходимо знать фактический характер распределения воздушного потока перед радиатором до начала изменения параметров воздушного тракта. В настоящее время в литературных источниках<sup>3</sup> [4, 8] приводятся только ориентировочные значения скорости воздушного потока, протекающего через радиатор, без учета распределения скорости потока с привязкой к различным его

<sup>1</sup> Euro-7-Norm: Audi entwickelt keine neuen Verbrenner mehr [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.automobilwoche.de/article/20210316/AGENTURMELDUNGEN/303159940/1276/euro%E2%80%93norm-audi-entwickelt-keine-neuen-verbrenner-mehr> (дата обращения: 20.04.2021).

<sup>2</sup> Loveday, E. The future is electric and Daimler is ready to make the transition. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://insideevs.com/news/371793/daimler-no-gas-engine-electric-only/> (дата обращения: 20.04.2021).

<sup>3</sup> Бурков В. В., Индейкин А. И. Автотракторные радиаторы: справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1978. – 216 с.

областям. Поэтому целью данной работы стало экспериментальное определение скоростей воздушного потока перед радиатором в различных его точках при разных значениях питающего напряжения. Для достижения данной цели на кафедре техники и технологий автомобильного транспорта Тамбовского государственного технического университета был проведен ряд экспериментальных исследований [6]. Результаты исследований в дальнейшем помогут осуществить улучшение характеристик систем охлаждения двигателей внутреннего сгорания.

#### Методика экспериментальных исследований

Для экспериментального определения характера распределения воздушного потока перед радиатором была разработана методика проведения экспериментальных исследований, предусматривающая изготовление лабораторной установки, которая должна обеспечивать размещение радиатора и определение скорости воздушного потока на выходе из него с привязкой к конкретным его областям, а также измерение частоты вращения лопастей вентилятора и потребляемой его двигателем мощности.

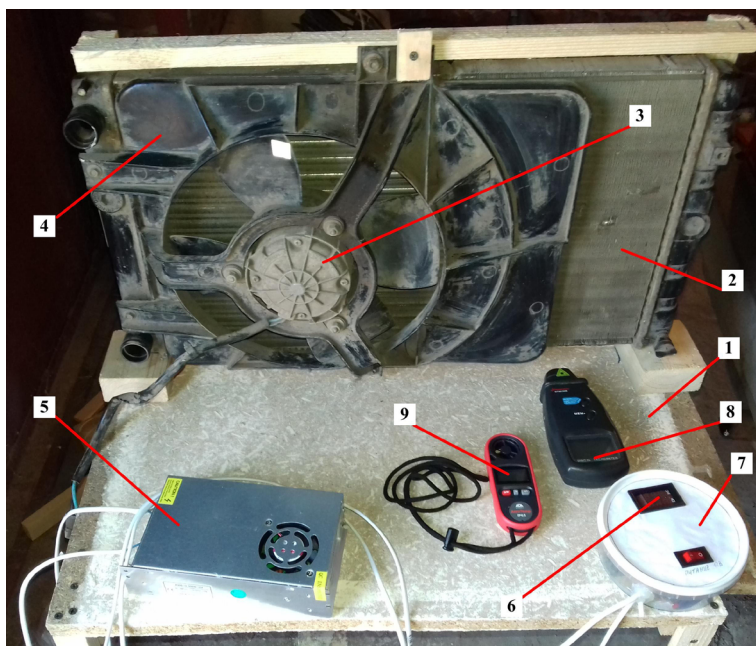


Рисунок 1. Общий вид лабораторной установки  
Источник: разработано авторами на основе [6]



Рисунок 2. Координатная сетка на радиаторе  
Источник: взято из [6]



В соответствии с необходимыми требованиями была изготовлена лабораторная установка, общий вид которой и применяемого измерительного оборудования представлены на рисунке 1 [6].

Лабораторная установка (рисунок 1) состоит из стола 1, обеспечивающего крепление к нему радиатора 2 (использовался радиатор ВА3-2110) в блоке с электровентилятором 3 (ВЕКТОЛ 2109-1308008-0) и кожухом 4. Питание вентилятора осуществляется при помощи блока питания 5 мощностью 300 Вт, а замер напряжения и силы тока осуществляется цифровым амперметром-вольтметром 6 с погрешностью 1%, который встроен в пульт управления 7. Замер частоты вращения вала вентилятора осуществляется при помощи оптического тахометра 8 («Sinometr DT 6236В»). Измерение значений скорости воздушного потока и его температуры перед радиатором произ-

водится при помощи цифрового анемометра-термометра 9 (ADA AeroTemp IP65 A00546) [6].

Вся площадь радиатора разбита при помощи ниток – горизонтальных и вертикальных – на ячейки, образовав тем самым прямоугольную систему координат (рисунок 2). Сетка располагается от радиатора на расстоянии 20 мм. Ячейки квадратные, шаг – 50 мм.

Замеры производились в местах пересечения горизонтальных 1 и вертикальных 2 ниток (рисунок 3), каждое такое пересечение 3 имеет соответствующее обозначение, состоящее из двух цифр – первая – номер вертикальной нити, а вторая – номер горизонтальной нити, разделенные дефисом. Таким образом, замер осуществлялся в 77 точках путем размещения центра анемометра 4 в точку пересечения нитей.

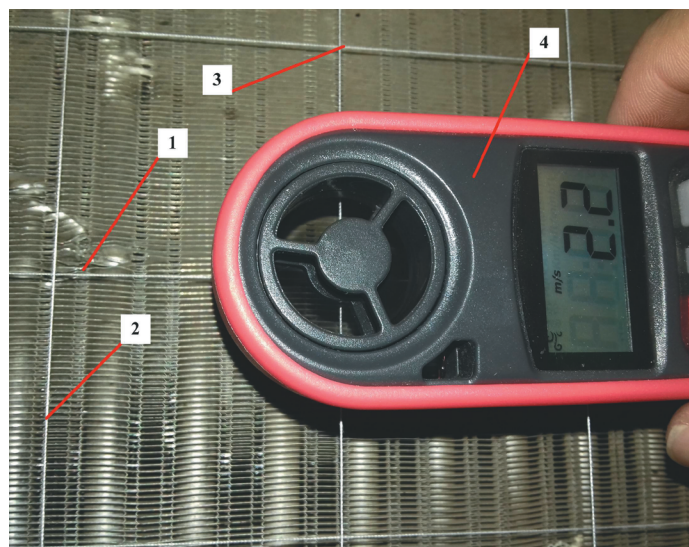


Рисунок 3. Процесс измерения скорости воздушного потока

Источник: разработано авторами

Программой испытаний предусматривалось несколько этапов исследований. Первым этапом предусмотрено определение влияния питающего напряжения на частоту вращения лопастей вентилятора и на скорость воздушного потока перед радиатором в различных его точках.

Измерения производились следующим образом. Включался электродвигатель вентилятора, при помощи корректирующего винта в блоке питания выставлялось начальное напряжение. Выбор данного диапазона значений напряжения был обусловлен несколькими факторами. Для дальнейших исследований необходимо было получить зависимость потребляемой двигателем вентилятора мощности от питающего напряжения. Наличие точек при более низких напряжениях дает возможность получить аппроксимирующее уравнение, по которому можно найти, при необходимости, ориентировочные значе-

ния потребляемой мощности. Второй фактор – двигатель вентилятора рассчитан на номинальное напряжение 12 вольт и увеличение напряжения может негативно сказаться на его ресурсе и может привести к неоправданному увеличению потребляемой мощности и существенного увеличения скорости потока воздуха. Также одной из задач исследования была оценка влияния снижения питающего напряжения на скорость и характер распределения воздушного потока для дальнейшего обоснования нижнего допустимого предела питающего напряжения, который необходимо поддерживать при эксплуатации. С учетом вышесказанного был принят диапазон изменения питающего напряжения от 9В до 12В с шагом 1В. Также определялась частота вращения вентилятора, соответствующая каждому напряжению. Затем производился замер скорости воздушного потока во всех точках сетки при одном напряжении, затем вы-



ставлялось следующее напряжение и выполнялись замеры. Все замеры осуществлялись с трехкратной повторностью. Дополнительно была измерена температура воздуха, которая составила  $15,6^{\circ}\text{C}$  [6].

### Результаты экспериментальных исследований

В результате выполнения первого этапа исследований и обработки полученных данных в программе «Excel 2007» была получена аппроксимирующая зависимость изменения потребляемой электродвигателем вентилятора мощности в зависимости от величины питающего напряжения:

$$N = 36,25U - 214,6, \quad (1)$$

где

$N$  – потребляемая электродвигателем мощность, Вт;

$U$  – величина питающего напряжения, В.

Используя выражение (1), можно рассчитать ориентировочные значения мощности, потребляемой электродвигателем вентилятора, при других значениях напряжения.

В результате исследований скоростей потока перед радиатором установлено, что в части радиатора, не охваченной кожухом, воздушный поток отсутствует при всех значениях питающего напряжения, а при минимальном из исследуемых напряжений равно 9 вольтам, скорость воздушного потока равна нулю и во всех строках третьего столбика (точки с (3–1) по (3–7) координатной сетки). При напряжении 10 вольт в третьем столбике скорость потока равна нулю в точках (3–1) – (3–3), а при напряжении 11 вольт скорость потока больше нуля во всех точках третьего столбика, кроме точки (3–1). Следовательно, для сохранения исходного распределения воздушного потока по радиатору питающее напряжение должно быть не менее 11 вольт. Для большей наглядности результаты измерений скоростей воздушного потока перед радиатором при всех значениях питающего напряжения (без учета столбиков с нулевыми значениями скорости потока) были представлены в виде поверхностей отклика, построенных в программе «STATISTICA 7.0» (рисунки 4–7).

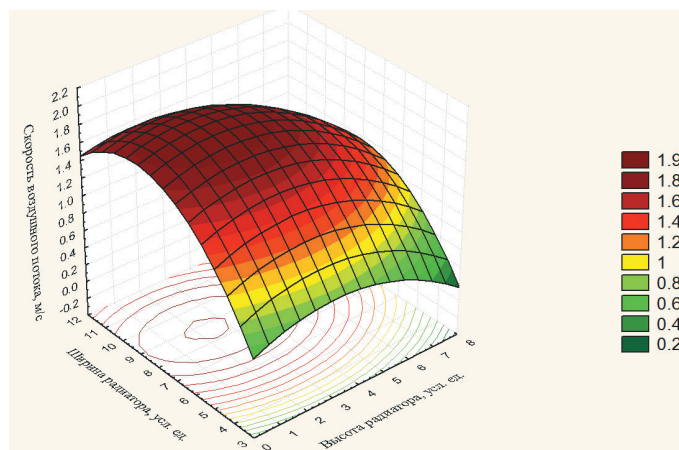


Рисунок 4. Распределение воздушного потока перед радиатором при питающем напряжении 9 В  
Источник: разработано Хольшевым Н. В. в программе «Statistica 7.0»

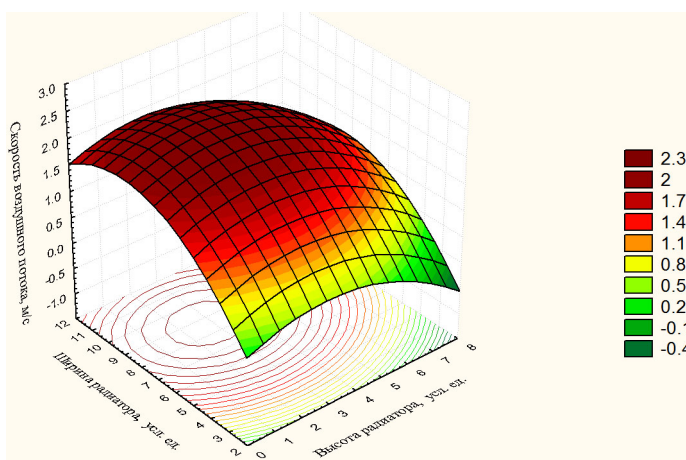


Рисунок 5. Распределение воздушного потока перед радиатором при питающем напряжении 10 В  
Источник: разработано Хольшевым Н. В. в программе «Statistica 7.0»

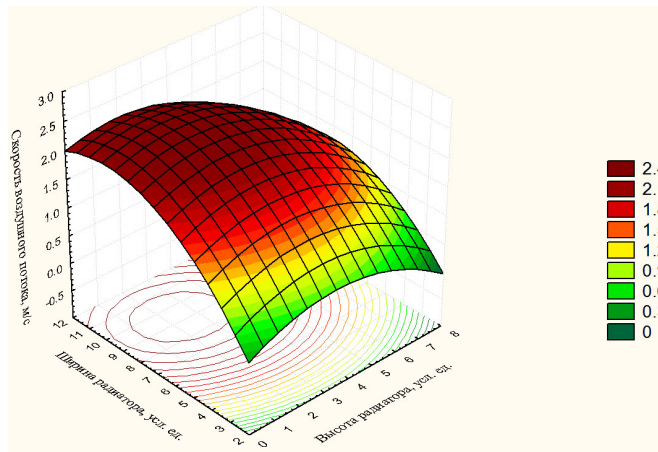


Рисунок 6. Распределение воздушного потока перед радиатором при питающем напряжении 11 В  
Источник: разработано Хольшевым Н. В. в программе «Statistica 7.0»

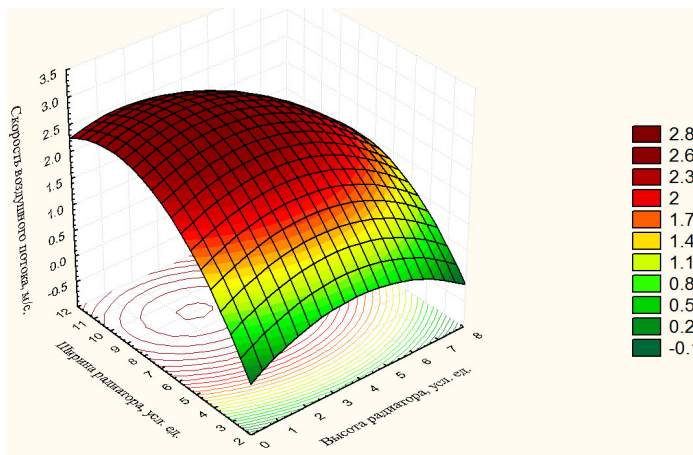


Рисунок 7. Распределение воздушного потока перед радиатором при питающем напряжении 12 В  
Источник: разработано Хольшевым Н. В. в программе «Statistica 7.0»

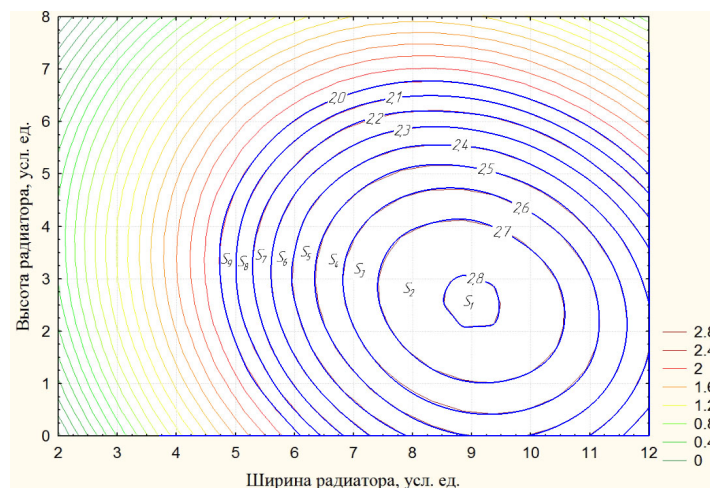


Рисунок 8. Распределение воздушного потока в изолиниях перед радиатором при питающем напряжении 12 В  
Источник: разработано Хольшевым Н. В. в программе «Компас 3D V16»

Из рисунков 4–7 видно, что характер распределения воздушного потока перед радиатором существенно не зависит от величины питающего напряжения. Различия заключаются только в значениях скорости потока. Во всех случаях наибольшие значения скорости приходятся на область, где находится вентилятор со смещением от его центра (около точек (9–2) и (10–3)). Анализ значений скорости воздушного потока показал, что максимальные значения скорости воздуха перед радиатором при номинальном питающем напряжении равном 12 вольтам в 1,85 раза больше, чем при минимальной частоте вращения ротора, обеспечиваемой напряжением 9 вольт.

Как уже было отмечено ранее, питающее напряжение должно быть не менее 11 вольт для сохранения исходного распределения воздушного потока перед радиатором, которое обеспечивает максимальную площадь обдува. Это необходимо учитывать при эксплуатации автомобиля, иначе возможно ухудшение теплового режима двигателя. Для сравнения воздушных потоков через радиатор при 12 В и 11 В необходимо учитывать не только максимальные значения скоростей воздуха для данных режимов, но и также площади, продува-

емые потоком с конкретной скоростью. Для этого поверхности отклика, приведенные на рисунках 7 и 8, были приведены к изометрическому виду, а затем перенесены в программу «Компас 3D V16», где были измерены площади ( $S_1-S_2$ ), соответствующие областям со скоростями 2 м/с и более (рисунок 8, для напряжения 12 вольт).

Полученные площади были скорректированы поправочными масштабными коэффициентами по горизонтали и вертикали, полученными делением размера ячейки координатной сетки лабораторной установки на фактические размеры ячеек на рисунках 7 и 8. Далее найденные значения площадей были просуммированы. Затем находили отношения площадей, соответствующих каждому диапазону скоростей воздушного потока, к суммарной площади для каждого питающего напряжения. Умножив данные значения на величину скоростей в диапазоне и сложив полученные числа, были получены усредненные значения скоростей воздушного потока с учетом площадей радиатора, на которые действуют потоки воздуха соответствующей скорости. Результаты измерения и вычислений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерений и расчетов по определению усредненной скорости воздушного потока

Диапазон	Измеренная площадь, мм <sup>2</sup>	Корректирующий коэффициент по		Фактическая площадь, мм <sup>2</sup>	Доля площади со скоростью из диапазона	Вклад скорости каждого диапазона в среднюю скорость потока, м/с
		горизонтали	вертикали			
Питающее напряжение 12 вольт						
> 2,8	513	1,77	2,02	1834,74	0,02	0,05
2,8–2,7	4833			17285,16	0,16	0,43
2,7–2,6	4830			17274,43	0,16	0,41
2,6–2,5	4729			16913,21	0,16	0,39
2,5–2,4	4140			14806,66	0,14	0,33
2,4–2,3	3289			11763,06	0,11	0,25
2,3–2,2	2807			10039,20	0,09	0,20
2,2–2,1	2854			10207,29	0,09	0,20
2,1–2,0	2481			8873,26	0,08	0,16
Сумма				108997,01	1,0	2,41
Питающее напряжение 11 вольт						
> 2,4	4938	1,79	2,00	17635,71	0,20	0,47
2,4–2,3	6453			23046,43	0,26	0,59
2,3–2,2	6036			21557,14	0,24	0,53
2,2–2,1	4320			15428,57	0,17	0,36
2,1–2,0	3506			12521,43	0,14	0,28
Сумма				90189,29	1,00	2,22

Источник: разработано Хольшевым Н. В.



Таким образом, усредненная скорость воздушного потока при номинальном напряжении составила 2,41 м/с, а при 11 вольтах питающего напряжения – 2,22 м/с, т. е. номинальное напряжение обеспечивает скорость воздушного потока всего в 1,09 раза больше.

Ориентировочную величину коэффициента полной теплопередачи через стенки радиатора можно найти по формуле [3, 4, 8] в Вт/м<sup>2</sup>·с·°К:

$$k \approx (41/3,6)v_{\text{воз}}^{0,8}, \quad (2)$$

где

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

Для полученных скоростей воздушного потока по данной формуле были вычислены значения коэффициента полной теплопередачи через стенки радиатора, которые составили для 12В – 23,03 Вт/м<sup>2</sup>·с·°К, а для 11 В – 21,55 Вт/м<sup>2</sup>·с·°К, т. е. в 1,07 раза больше. С учетом физического смысла полного коэффициента теплопередачи – количество теплоты (в Дж), отводимого от более нагретого тела с 1 м<sup>2</sup> за 1 секунду при разности температур между телами в 1 градус и при неизменном количестве теплоты, отводимой от радиатора, при напряжении 11 В вентилятор будет работать дольше всего в 1,07 раза, что в конечном счете не критично.

## Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены распределения скоростей воздушного потока перед радиатором при различных значениях питающего напряжения. Анализ поверхностей отклика, полученных на основе экспериментальных данных, показал, что снижение напряжения питания существенно не влияет на характер распределения скоростей воздушного потока, но влияет на скорость потока.

Экспериментально установлено, что при эксплуатации автомобиля не следует допускать снижения напряжения питания электродвигателя вентилятора более чем на 1 вольт от номинального. При таком значении напряжения скорость воздушного потока не будет существенно отличаться от значений при номинальном напряжении, но следует учесть, что воздух, выходящий из вентилятора, дополнительно охлаждает непосредственно сам двигатель автомобиля и снижение скорости потока воздуха может привести к ухудшению температурных условий его работы.

Полученные на лабораторной установке распределения воздушного потока перед радиатором будут отличны от реальных значений, так как при работе вентиляторной установки в реальных условиях на выходе из нее имеются дополнительные сопротивления, препятствующие свободному истечению воздуха. Для оценки влияния указанных выше факторов необходимы дополнительные исследования.

## Литература

1. 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.
2. Гончаров А. В., Верховодов А. А. Совершенствование блока «радиатор-вентилятор» охлаждающих устройств двигателей легковых автомобилей // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник трудов XII Междунар. науч.-практ. конф. (Оренбург, 22–24 апреля 2015 г.); под ред. В. И. Рассоха. – Оренбург, 2015. – С. 215–224.
3. Мануйлов В. С., Аверкин Л. А., Пославский А. П. Метод диагностирования рабочих характеристик теплообменников // Наука и техника транспорта. – 2007. – № 4. – С. 62–66.
4. Поспелов Д. Р. Двигатели внутреннего сгорания с воздушным охлаждением (теория и расчет): монография. – М.: Машиностроение, 1971. – 536 с.
5. Шипилов А. А. Обзор и анализ конструкций систем принудительного охлаждения радиаторов легковых автомобилей // Фундаментальные и прикладные научные исследования: инновационный потенциал развития: сб. ст. по матер. междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 18 октября 2019 г.); под редакцией А. Р. Халикова. – Уфа, 2019. Ч. 1. С. 133–140.
6. 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 матер. междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 31 октября 2019 г.); под ред. А. Р. Халикова. – Уфа, 2019, Ч. 2. – С. 139–146.
7. 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 (Москва, 29–30 января 2019 г.); под ред. Л. Л. Зиманова. – Москва, 2019. – С. 168–171.
8. 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.

9. Chein R., Chuang J. Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2007. No. 46. – P. 57–66.
10. Chetan Kulkarni et al Underhood Flow Management of Heavy Commercial Vehicle to Improve Thermal Performance // *SASTech Journal*. – 2012. Vol. 11, Iss. 1. – P. 10–16.
11. 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: collection of works the 5th International Conference on Mechanical Engineering, Materials Science and Civil Engineering*. (Kuala Lumpur, Malaysia, 15–16 December 2017). – Kuala Lumpur, Malaysia, 2018. No. 324. P. 1–11.
12. 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. – P. 35–38.
13. 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). – P. 1–8.
14. 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. – P. 307–311.
15. 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. Goncharov, A. V. (2007) [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]. Vol. 6 (112), pp. 108–112. (In Russ.).
2. Goncharov, A. V., Verkhovodov, A. A. (2015) [Improvement of the block «radiator-fan» of cooling devices of passenger car engines]. *Progressivnye tekhnologii v transportnyh sistemah: sbornik trudov XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Progressive technologies in transport systems: a collection of works of the XII Intern. scientific-practical conf.]. Orenburg, pp. 215–224. (In Russ.).
3. Manuilov, V. S., Averkin, L. A., Poslavsky, A. P. (2007) [Method for diagnosing the performance characteristics of heat exchangers]. *Nauka i tekhnika transporta* [Transport science and technology]. Vol. 4, pp. 62–66. (In Russ.).
4. Pospelov, D. R. (1971) *Dvigateli vnutrennego sgoraniya s vozdushnym ohlazhdeniem (teoriya i raschet)* [Air-cooled internal combustion engines (theory and calculation)]. Moscow: Mechanical engineering, 536 p.
5. Shipilov, A. A. (2019) [Review and analysis of designs of forced cooling systems for passenger car radiators]. *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: innovatsionnyj potencial razvitiya: sb. st. po mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf* [Fundamental and applied scientific research: innovative development potential: collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference]. Ufa, part 1, pp. 133–140. (In Russ.).
6. Shipilov, A. A., Kholshev, N. V. (2019) [Methodology and results of the experimental determination of the air flow rate in front of the radiator of the car cooling system]. *Innovatsionnyj potencial razvitiya nauki v sovremenom mire: sb. sb. st. po mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Innovative potential for the development of science in the modern world: collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference]. Ufa, part 2, pp. 139–146. (In Russ.).
7. Shipilov, A. A., Kholshev, N. V. (2019) [Review of methods for regulating the cooling intensity of the car engine radiator]. *Problemy tehnichej ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: sb. nauch. tr. kafedry EATiS*. [Problems of technical operation and car service of rolling stock of motor transport: collection of scientific papers of the department EATiS]. Moscow, pp. 168–171. (In Russ.).
8. Yakubovich, A. I., Kukharenek, G. M., Tarasenko V. E. (2014) *Sistemy ohlazhdenija dvigatelej traktorov i avtomobilej. Issledovaniya, parametry i pokazateli* [Cooling systems of engines of tractors and cars. Research, parameters and indicators]. Minsk: BNTU, 300 p.
9. Chein, R., Chuang, J. (2007) Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*. Vol. 46, pp. 57–66. (In Engl.).
10. Chetan Kulkarni et al (2012) Underhood Flow Management of Heavy Commercial Vehicle to Improve Thermal Performance. *SASTech Journal*. Vol. 11, Iss. 1, pp. 10–16. (In Engl.).
11. Ma, W. S., Shen, W. X., Zhang, L. W. (2018) Heat rejection efficiency research of new energy automobile radiators. *IOP Conference Series: Materials Science AND Engineering: collection of works the 5th International Conference on Mechanical Engineering, Materials Science and Civil Engineering. Kuala Lumpur, Malaysia*. 324, pp. 1–11. (In Engl.).

12. Mounika, P., Sharma, R. K., Kishore, P. S. (2019) Performance Analysis of Automobile Radiator. *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering*. Vol. 3, Iss. 5, pp. 35–38. (In Engl.).

13. Palani, S. et al (2016) Study of Cooling System in I.C. Engine Improving Performance with Reduction of Cost. *Indian Journal of Science and Technology*. Vol. 9 (1), pp. 1–8. (In Engl.).

14. Parashurama, M., Dhananjaya, D., Naveena, Kumar, R. (2015) Experimental Study of Heat Transfer in a Radiator using Nanofluid. *International Journal of Engineering Development and Research*. Vol. 3, Iss. 2, pp. 307–311. (In Engl.).

15. Virale, A. G., Nitnaware, P. T. (2017) Experimental analysis of jacket cooling of S I engine and study of operating parameters and emissions. *International Journal of Advances in Engineering and Technology*. Vol. 10, pp. 113–121. (In Engl.).

**Информация об авторах:**

**Николай Васильевич Хольшев**, кандидат технических наук, доцент кафедры техники и технологий автомобильного транспорта, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
e-mail: xhb@live.ru

**Дмитрий Николаевич Коновалов**, кандидат технических наук, доцент кафедры техники и технологий автомобильного транспорта, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
e-mail: kdn1979dom@mail.ru

**Юрий Евгеньевич Глазков**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры техники и технологий автомобильного транспорта, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия  
e-mail: glazkov\_jura@zmail.ru

Статья поступила в редакцию: 21.04.2021; принята в печать: 10.06.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Information about the authors:**

**Nikolay Vasilyevich Kholshev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering and Technology of Automobile Transport, Tambov State Technical University, Tambov, Russia  
e-mail: xhb@live.ru

**Dmitry Nikolaevich Konovalov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering and Technology of Automobile Transport, Tambov State Technical University, Tambov, Russia  
e-mail: kdn1979dom@mail.ru

**Yuri Evgenievich Glazkov**, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Associate Professor of the Department of Engineering and Technology of Automobile Transport, Tambov State Technical University, Tambov, Russia  
e-mail: glazkov\_jura@zmail.ru

The paper was submitted: 21.04.2021.

Accepted for publication: 10.06.2021.

The authors have read and approved the final manuscript.