

Научная статья
УДК 62-71

Исследование влияния удаленности вентилятора от поверхности радиатора на эффективность системы охлаждения

Сергей Александрович Базавлук¹, Ринат Ханяфиевич Курмаев²

^{1,2} Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ», Москва, Россия

¹sergey.bazavluk@nami.ru

²rinat.kurmaev@nami.ru

Аннотация. В наши дни наибольшее распространение среди транспортных средств (ТС) на альтернативных источниках энергии получили ТС на электротяге. В процессе эксплуатации электрокомпонентов ТС выделяется большое количество теплоты, поэтому возникает необходимость применения систем охлаждения для поддержания требуемого диапазона температур электрокомпонентов. Компьютерное моделирование позволяет проводить исследования различных процессов в автотранспортных средствах с высокой точностью при меньших материальных и временных затратах. Основная цель представленной работы заключается в повышении эффективности теплоотвода радиатора системы охлаждения при работе вентилятора за счет увеличения расхода воздуха при изменении расстояния между поверхностью радиатора и вентилятором. Приведены результаты компьютерного моделирования и натурного эксперимента по определению оптимального расстояния между радиатором и вентилятором на различных частотах вращения. В результате исследования установлено, что при удалении кожуха с вентилятором на 10 мм от радиатора по сравнению с исходной версией расход воздуха увеличился в среднем на 13%. Результаты расчетных исследований были подтверждены экспериментом.

Ключевые слова: расход воздуха, вентилятор, радиатор, система охлаждения, испытания, электротранспорт.

Для цитирования: Базавлук С.А., Курмаев Р.Х. Исследование влияния удаленности вентилятора от поверхности радиатора на эффективность системы охлаждения // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №1(35).

Original article

Investigation of the influence of distance between fan and radiator surface on the efficiency of cooling system

Sergey A. Bazavluk¹, Rinat Kh. Kurmaev²

^{1,2}Federal State Unitary Enterprise "Central Scientific Research Automobile and Automotive Engines Institute" (FSUE "NAMI"), Moscow, Russia

¹sergey.bazavluk@nami.ru

²rinat.kurmaev@nami.ru

№ 1(35)
март 2023

Abstract. Today, electric vehicles are the most widespread among vehicles powered by alternative energy sources. During the operation of the electrical components of the vehicle, a large amount of heat is released, so it becomes necessary to use cooling systems to maintain the required temperature range of the electrical components. Computer simulation makes it possible to carry out studies of various processes in vehicles with high accuracy at lower material and time costs. The main purpose of the presented work is to increase the efficiency of heat dissipation of the radiator of the cooling system during fan operation by increasing airflow when changing the distance between surface of radiator and fan. The results of computer simulation and full-scale experiment to determine the optimal distance between the radiator and the fan at different speeds are presented. As a result of the study, it was found that when the casing with the fan was removed by 10 mm from the radiator, compared to the original version, the air consumption increased by an average of 13%. The results of computational studies were confirmed by experiment.

Keywords: airflow, fan, radiator, cooling system, testing, electric transport.

For citation: Bazavluk S.A., Kurmaev R.Kh. Investigation of the influence of distance between fan and radiator surface on the efficiency of cooling system. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2023. №1 (35).

Введение

Активное развитие электротранспорта (ЭТС), подтверждаемое повышенным спросом среди покупателей способствует разработке новых моделей и конструкций транспортных средств на электротяге. Так, например, в России в 2019 году число электромобилей составляло 6300 единиц, в 2020 – 10800 [1, с.5], а в 2022 уже 16500 единиц. Также увеличивается интерес к ЭТС категории L, на данный момент в России и мире ведутся разработки электромотоциклов различного класса несколькими компаниями для серийного производства.

Транспортные средства на электротяге, так же как и автомобили с двигателями внутреннего сгорания, имеют систему охлаждения для поддержания заданного диапазона температур электрокомпонентов: инвертор, электродвигатель и тяговая аккумуляторная батарея (ТАБ). Повышенные температуры электрокомпонентов отрицательно сказываются на их характеристиках и сроке службы [2, с.3]. Применение систем

охлаждения электрокомпонентов в конструкции ЭТС позволяет поддерживать их оптимальную рабочую температуру и сократить время зарядки ТАБ [3,4]. В зависимости от мощности электродвигателя и емкости ТАБ применяются различные виды систем охлаждения: воздушная, жидкостная и гибридная.

Одним из основных компонентов жидкостной системы охлаждения является радиатор, который служит для рассеивания тепла в воздухе, отведенного от электрокомпонентов охлаждающей жидкостью. Подача воздуха через радиатор системы охлаждения может осуществляться за счет работы вентилятора или под действием набегающего потока воздуха. Коэффициент полезного действия второго способа выше, поэтому в большинстве конструкций транспортных средств (ТС), в том числе категории L, используют набегающий поток воздуха для увеличения расхода воздуха через радиатор системы охлаждения и тем самым увеличения теплоотвода [5, с.111]. Однако в электромотоциклах большой мощности при низких скоростях движения, большое значение для теплоотвода имеет поток воздуха, создаваемый вентилятором радиатора, так как набегающий поток минимален или вовсе отсутствует. Это наиболее актуально в процессе зарядки ТАБ, когда ТС не движется, а выделение теплоты происходит в результате протекания больших токов. В тех случаях, когда зарядная станция не оборудована системой поддержания оптимальной температуры батареи в процессе зарядки используется штатная система охлаждения ТС [6, с.215].

Для определения аэродинамических параметров радиатора в сборе с вентилятором необходимо проведение испытаний, требующих дорогостоящего оборудования и больших временных затрат на подготовку и проведение испытаний. Провести данное исследование можно с помощью современных расчетных программ, которые позволяют имитировать испытания как в составе ТС, так и компонентов отдельно с применением 3D-моделей необходимых деталей [7, с.47].

Основной целью данной работы является определение оптимального расстояния между вентилятором и поверхностью радиатора, при котором увеличивается расход воздуха через радиатор, способствующий повышению эффективности системы охлаждения при работе вентилятора в программной среде Solidworks Flow Simulation, а также проверка результатов данного виртуального исследования натурным экспериментом.

Основная часть

Эффективность системы охлаждения во многом зависит от расхода жидкости и воздуха через радиатор, при этом в большей степени на отвод теплоты влияет расход воздуха [8, с.137, 159]. В связи с этим, в данной работе основным критерием эффективности работы системы охлаждения рассматривается расхода воздуха через радиатор.

Скорость потока воздуха пропорциональна его расходу через радиатор. При удалении вентилятора с кожухом от поверхности радиатора происходит увеличение равномерности потока воздуха в случае создания потока воздуха за счет работы вентилятора, который не полностью перекрывает поверхность радиатора. В результате снижается аэродинамическое сопротивление и увеличивается расход воздуха через радиатор [9, с.159]. При дальнейшем удалении вентилятора увеличивается скорость, нагнетаемого им воздуха, а также увеличивается аэродинамическое сопротивление радиатора, определяемое по формуле [10, с.4]:

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho V^2}{2}, \quad (1)$$

где ζ – гидравлическое сопротивление радиатора, ρ – плотность воздуха, V – скорость воздуха.

1. Исследование в программной среде Solidworks Flow Simulation

Модель радиатора задавалась как пористое тело с размерами сердцевины 256x128x35 мм с однонаправленной проницаемостью. Также

задавалась аэродинамическая характеристика радиатора, полученная в результате испытаний в аэродинамической трубе в равномерном потоке воздуха.

Модель вентилятора представляет собой вращающееся твердое тело диаметром 130 мм с определенной характеристикой создаваемого перепада давления в зависимости от расхода воздуха. Частота вращения вентилятора задавалась зависимостью от сопротивления радиатора при максимальном напряжении на вентиляторе. Таким образом, частота вращения вентилятора находилась в диапазоне 4900–5400 об/мин при максимальном сопротивлении и его отсутствии соответственно.

На рисунке 1 представлена расчетная модель радиатора и вентилятора с кожухом в программе Solidworks Flow Simulation, а также линиями указаны траектории движения потока воздуха.

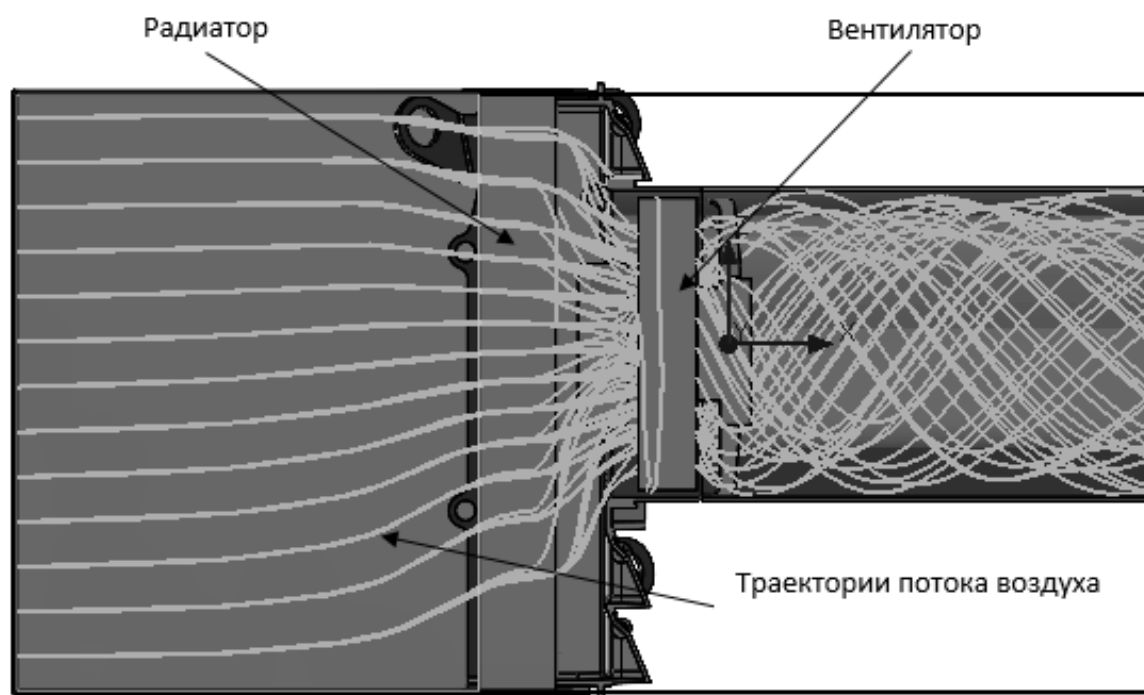


Рис. 1. Расчетная модель в программной среде Solidworks Flow Simulation (в разрезе)

Программная среда Solidworks Flow Simulation позволяет получать в результате виртуальных испытаний различные параметры, среди которых необходимый для данной работы расход воздуха через радиатор.

Также были получены картины распределения перепадов давления для каждого варианта удаления вентилятора в точках, в которых установлены

приемники давления на реальном радиаторе. Это позволяет сравнить распределение потока воздуха по поверхности радиатора при виртуальном и реальном испытании.

2. Эксперимент на стенде

В качестве объекта исследования использовался радиатор с размерами сердцевины 256x128x35 мм и вентилятор SPAL VA31-A101-46A с диаметром крыльчатки 130мм с кожухом, полностью охватывающем поверхность радиатора. Статическое давление на входе и выходе из радиатора измерялось в 32 точках (по 16 с каждой стороны) с помощью приемников давления (рис. 2). Регистрация показаний давления производилась с помощью 64-канального сканера давления, позволяющего измерять давление на приемниках, установленных на радиаторе относительно опорного давления встроенными пьезоэлектрическими датчиками с частотой 850 Гц.

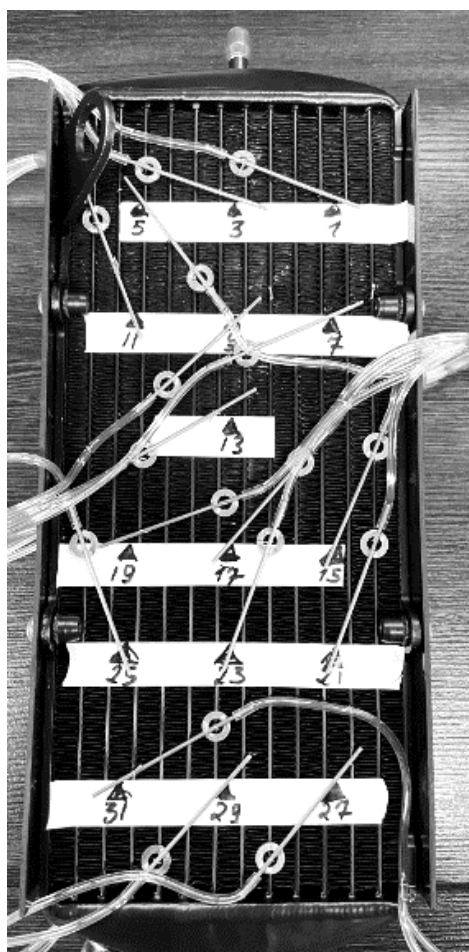


Рис. 2. Расположение приемников давления на входной поверхности радиатора

Для определения объемного расхода воздуха (Q) использовался полином пятой степени [11, с.65]:

$$Q = 3,94 \cdot 10^{-13} \cdot \Delta p^5 - 6,36 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta p^4 + 3,88 \cdot 10^{-7} \cdot \Delta p^3 - 1,13 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta p^2 + 2,03 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta p + 4,28 \cdot 10^{-2}, \quad (2)$$

где Δp – средний перепад давления на радиаторе.

В результате испытаний были получены значения перепадов давлений по поверхности радиатора для различных значений удаления: 0мм – исходный кожух, установленный на поверхности радиатора, 10мм – исходный кожух и проставка 10мм, 15 мм и 20мм.

Для наглядности результаты расчетов расхода воздуха при моделировании и испытаниях сведены в таблицу.

Таблица 1.

Расход воздуха через радиатор при различном удалении вентилятора от поверхности радиатора

Удаление, мм	0	10	15	20
Расход воздуха через радиатор (моделирование), м³/ч	303,25	341,10	337,50	315,67
Расход воздуха через радиатор (эксперимент), м³/ч	317,08	360,70	356,86	332,85
Разница между моделированием и экспериментом, %	4,6	5,7	5,7	5,4

Вывод

Таким образом, в результате расчетов по определению оптимального расстояния между вентилятором и поверхностью радиатора в программной среде Solidworks Flow Simulation было установлено, что наиболее оптимальным расстоянием с точки зрения расхода воздуха является 10мм. При удалении вентилятора с кожухом на 10 мм по сравнению с исходным вариантом, расход воздуха увеличился на 12,5% с 303,25м³/ч до 341,10м³/ч.

В результате натурных испытаний были подтверждены данные расчетов. В среднем погрешность составила 5,4%. Так же подтвердилось оптимальное расстояние между вентилятором и поверхностью радиатора, полученное в результате моделирования. При увеличении расстояния на 10 мм путем установки проставок между радиатором и кожухом по сравнению с исходным значением, расход воздуха через радиатор увеличивается на $43,62 \text{ м}^3/\text{ч}$ (13,6%).

Картины распределения перепадов давления по поверхности, соответствующие распределению потока воздуха по поверхности, полученные в результате моделирования и эксперимента схожи между собой, а также отображают увеличение равномерности потока воздуха с удалением вентилятора с кожухом от поверхности радиатора.

Полученные данные можно использовать для рекомендаций к оптимизации конструкции кожуха вентилятора. Также данная расчетная модель позволит проводить аэродинамические исследования воздушного тракта системы охлаждения для оптимизации воздухопроводов ТС.

Список источников

1. Группа «ДЕЛОВОЙ ПРОФИЛЬ». Аналитическое исследование. Российский рынок электромобилей: будущее «зеленого» автомобилестроения (2021).
2. Lyubimov, I.A., Kurmaev, R.K. The choice of a performance criterion for a high-voltage battery of a vehicle. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (2020), 819(1).
3. Биксалеев, Р.Ш. Имитационная модель системы термостатирования тяговой аккумуляторной батареи с пассивным охлаждением / Р.Ш. Биксалеев, К.Е. Карпухин, А.В. Климов, Р.Р. Маликов // Труды НАМИ. – 2020. – №4 (283).
4. J. Wagner, Richard Steven Miller, Shervin Shoai Naini, Junkui Huang. A Hybrid Electric Vehicle Motor Cooling System - Design, Model, and Control. (2019).
5. Петров, А.П. Определение значения расположения вентиляторной установки по отношению к радиатору / А. П. Петров, С. Н. Синицын // Вестник Курганского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2005. – № 4. – С. 111-112.

6. Дубинина, И.В. Зарядные устройства электромобилей / И.В. Дубинина, С.В. Мятёж // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов. В 9-ти частях, Новосибирск, 03–07 декабря 2018 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2018. – С. 214-216.
7. Черняев, М.В. Виртуальные испытания теплообменников системы охлаждения / М.В. Черняев, Д.С. Мошков // Журнал автомобильных инженеров. – 2014. – № 6(89). – С. 46-49.
8. Якубович, А.И. Системы охлаждения двигателей тракторов и автомобилей. Исследования, параметры и показатели / А.И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2014. – 300 с.
9. Петров, А.П. Аэродинамическое сопротивление радиатора в неравномерном потоке воздуха / А.П. Петров // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – Т. 1. – № 1(15). – С. 158-162.
10. Петров, А.П. Влияние неравномерности поля скоростей воздушного потока по фронту пористых объектов на аэродинамическое сопротивление / А.П. Петров // Труды МАИ. – 2013. – № 70. – С. 1-26.
11. Любимов, И.А. Способ повышения точности проведения виртуально-физических испытаний в среде X-in-the-Loop / И.А. Любимов, А.А. Егшин, Р.Х. Курмаев // Труды НАМИ. – 2022. – № 1(288). – С. 61-67.

References

1. Group "DELOVOY PROFILE". Analytical research. Russian market of electric vehicles: the future of "green" automotive industry (2021).
2. Lyubimov, I.A., Kurmaev, R.K. The choice of a performance criterion for a high-voltage battery of a vehicle. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (2020), 819(1).
3. Biksaleev R.Sh., Karpuhin K.E., Klimov A.V., Malikov R.R. *Trudy NAMI*, 2020, no. (283).
4. J. Wagner, Richard Steven Miller, Shervin Shoai Naini, Junkui Huang. A Hybrid Electric Vehicle Motor Cooling System - Design, Model, and Control. (2019).
5. Petrov A.P., Sinicyn S.N. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2005, no. 4, pp. 111-112.
6. Dubinina I.V., Mjatezh S.V. *Nauka. Tehnologii. Innovacii: Sbornik nauchnyh trudov*, Novosibirsk, 2018, pp. 214-216.
7. Chernjaev M.V., Moshkov D.S. *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*, 2014, no. 6(89), pp. 46-49.

8. Jakubovich A.I., Kuharenok G.M., Tarasenko V.E. *Sistemy ohlazhdenija dvigatelej traktorov i avtomobilej. Issledovanija, parametry i pokazateli* (Cooling systems for tractor and car engines. Studies, parameters and indicators) Minsk, BNTU, 2014, 300 p.
9. Petrov A.P. *Izvestija MGTU MAMI*, 2013, no. 1(15), pp. 158-162.
10. Petrov, A. P. *Trudy MAI*, 2013, no. 70, pp. 1-26.
11. Ljubimov I.A., Egoshin A.A., Kurmaev R.H. *Trudy NAMI*, 2022, no. 1(288), pp. 61-67.

Статья опубликована по итогам международной научно-технической конференции «10-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса».

Рецензент: М.Г. Шатров, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Базавлук Сергей Александрович, инженер-конструктор 3 категории,
ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».

Курмаев Ринат Ханяфиевич, канд. техн. наук, доц., ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».

Information about the authors

Bazavluk Sergey A., design engineer, FSUE "NAMI".

Kurmaev Rinat Kh., Ph.D., associate professor, FSUE "NAMI".

Статья поступила в редакцию 28.02.2023; одобрена после рецензирования 01.03.2023; принята к публикации 17.03.2023.

The article was submitted 28.02.2023; approved after reviewing 01.03.2023; accepted for publication 17.03.2023.