

УДК 629.34

И.В. Прохоров, Д.О. Бутарович, Д.М. Рябов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ВОЗДУХА  
ОБИТАЕМЫХ ЗОН САЛОНА ЭЛЕКТРОБУСА**

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

В настоящее время практически все транспортные средства комплектуются климатическими установками. Создание благоприятного температурного режима в салоне при перевозке пассажиров с наименьшими энергозатратами есть необходимое условие как для электробусов, так и в целом для конкурентоспособности российских транспортных средств. В статье описывается проведенный эксперимент для получения температурного поля в салоне электробуса. В дальнейшем данные эксперимента будут использоваться для подтверждения результатов математического моделирования тепловых потоков внутри салона.

*Ключевые слова:* климатическая система, температурное поле, микроклимат салона, электробус, энергоэффективность.

Микроклимат и воздушная среда во многом определяет благоприятное физическое состояние человека, оказывает влияние на его работоспособность, воздействует на тепловой обмен организма. Для создания комфортных условий в транспортном средстве создана совокупность систем, отвечающих за микроклимат.

Работа наземного общественного транспорта осуществляется в широких диапазонах параметров окружающей среды: температуры воздуха от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность воздуха от 20 % до 99 %, скорость ветра от 0 до 15 м/с. Для данных эксплуатационных норм обеспечение заданных показателей микроклимата является сложной многопараметрической задачей. Нежелательное ухудшение одного из параметров возможно компенсировать изменением в определенных границах другими параметрами микроклимата. Регулировка параметров температуры необходима с учетом множества параметров микроклимата, таких как влажность воздуха, радиационная температура, воздушные потоки в обитаемых зонах транспортного средства. При создании надлежащего микроклимата сложность задачи усугубляется неравномерным распределением показателей по объему среды, ввиду больших размеров внутреннего пространства, конструктивных особенностей салона транспортного средства. В настоящее время среди комплекса параметров микроклимата, полученных экспериментальным путем, наиболее точным является определение температуры воздуха салона – основного параметра, от которого зависит комфортное состояние пассажиров. Целью настоящего исследования является определение температурного поля воздуха обитаемых зон салона электробуса.

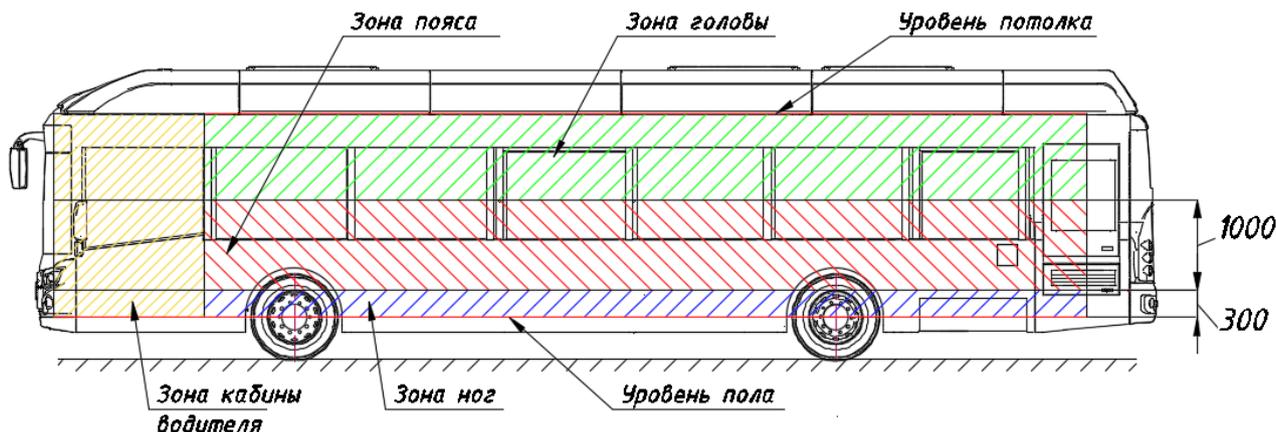
Согласно требованиям к параметрам микроклимата по ГОСТ Р 50993-96 «Автотранспортные средства. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Требования к эффективности и безопасности» для АТС категории М3 I класса (городской автобус)», температура воздуха пассажирских мест в зоне ног не менее  $0^{\circ}\text{C}$ , в зоне головы – не менее  $10^{\circ}\text{C}$ . В настоящее время данные показатели не отражают реальных потребительских требований, что, в конечном счете, ведет к неконкурентоспособности ТС. Как правило, диапазон комфортных для человека температур находится в прямой зависимости от четырех основных факторов:

- наружная температура воздуха;
- степень двигательной активности людей;
- степень теплоизолированности находящейся на людях одежды (легкой, средней или теплой);
- относительная влажность воздуха.

Условно необходимо разделить обитаемое пространство транспортного средства на зоны (рис. 1). Для салона электробуса выделено 4 зоны:

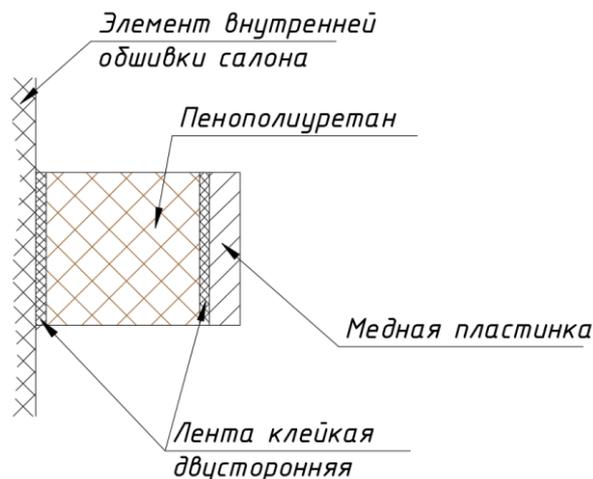
- зона кабины водителя;
- зона ног (0-300 мм по уровню пола);
- зона пояса (300-1300 мм по уровню пола);
- зона головы (1300 мм и выше от уровня пола).

Температура в зоне кабины в данном исследовании не рассматривается.



**Рис. 1. Зонирование обитаемого пространства электробуса**

В качестве индикаторов использовались медные квадратные пластинки размером 15х15 мм, установленные через теплоизолятор на элементы внутренней обшивки салона. В качестве теплоизолятора приняты пенополиуретановые фрагменты соответствующего размера. Данная схема индикаторов (рис. 2) проста в изготовлении, установке, не требует протяжки проводов.



**Рис. 2. Индикатор температуры**

Всего установлено 27 температурных индикаторов, расположение которых представлено на рис. 3. Также на схеме указано расположение отопителей и калориферов в электробусе.

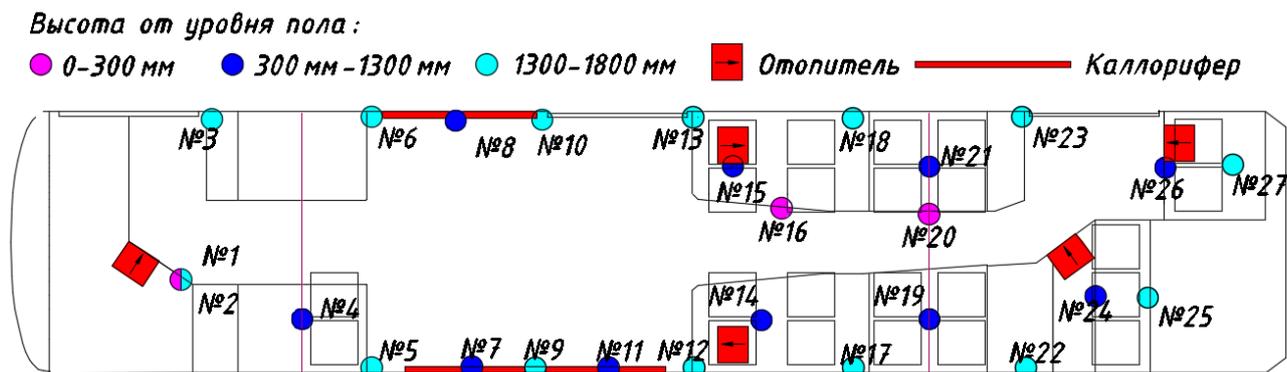


Рис. 3. Расположение индикаторов

В ходе опытной эксплуатации электробуса в Москве на маршруте М2, с помощью тепловизора Fluke Ti32, с определенной периодичностью за 30 мин было выполнено 380 измерений температуры индикаторов. При эксперименте все отопители и калориферы работали на максимальной мощности, электробус осуществлял движение по маршруту М2 с остановками, но без посадки и высадки пассажиров. На момент начала эксперимента преобладала облачная погода, без осадков, значение температуры окружающего воздуха составляло +4 °С, электробус находился в автобусном парке. После предварительного десятиминутного прогрева и выезда на маршрут сняты начальные значения индикаторов (табл. 1).

Таблица 1

Начальные значения температуры индикаторов

Зона ног		Зона пояса		Зона головы	
Номер индикатора	Показание, °С	Номер индикатора	Показание, °С	Номер индикатора	Показание, °С
1	10	4	8,5	2	10
16	12,5	7	11,5	3	9,5
20	12	8	11,5	5	11,5
		11	13	6	10,5
		14	13	9	12
		15	13,5	10	12,5
		19	12,5	12	15
		21	13	13	13
		24	13,5	17	15,5
		26	14	18	16
				22	14
				23	14
				25	15
				27	12

Показания после 30 мин эксплуатации представлены в табл. 2. Благодаря значениям индикаторов и их изменению во времени, получено температурное поле обитаемого пространства электробуса при определенных погодных условиях и работе системы обогрева салона. За время эксперимента в среднем температура салона увеличилась на 12,7°С, разница между наибольшими и наименьшими показателями так же значительно не поменялась и составила 8°С.

Таблица 2

## Значения температуры индикаторов через 30 мин

Зона ног		Зона пояса		Зона головы	
Номер индикатора	Показание, °С	Номер индикатора	Показание, °С	Номер индикатора	Показание, °С
1	26 (+16)	4	21,5 (+13)	2	27 (+17)
16	22 (+10,5)	7	27 (+15,5)	3	23,5 (+14)
20	21 (+9)	8	28 (+16,5)	5	24,5 (+13)
		11	27,5 (+14,5)	6	25 (+14,5)
		14	28,5 (+15,5)	9	25,5 (+13,5)
		15	27,5 (+14)	10	24 (+11,5)
		19	21 (+8,5)	12	28,5 (+13,5)
		21	21 (+8)	13	27 (+14)
		24	24 (+10,5)	17	27 (+11,5)
		26	27,5 (+13,5)	18	27 (+11)
				22	25,5 (+11,5)
				23	25 (+11)
				25	26,5 (+11,5)
				27	23,5 (+11,5)

Температура индикаторов зоны ног между средней и задней дверью увеличилась на 9-10°C, в районе передней двери на 16°C – ввиду близкого расположения отопителя. По индикаторам № 8, № 7, № 11, расположенным в зоне пояса центральной накопительной площадки электробуса, можно сказать, что прогрев воздуха в данной области происходит интенсивнее и, в целом, показания выше средней температуры по салону на 2-3°C. Зона головы в центральной накопительной площадке имеет среднюю температуру салона, кроме граничной зоны начала сидений из-за расположенных под сиденьями отопителей. Индикаторы № 15 и № 14, расположенные между сиденьями рядом с отопителями, № 17, № 18, так же имеют одни из самых высоких температурных показателей. Температура индикаторов № 19 и № 21 ниже средней на 4°C – вероятно, это связано с слабой циркуляцией воздуха за рядами сидений. Температура индикаторов в задней части салона имеет небольшой разброс от средней температуры по салону. В дальнейшем полученные в ходе эксперимента значения температуры воздуха в обитаемых зонах электробуса будут использоваться для верификации результатов расчетной модели, созданной в ANSYS CFX (рис. 4).

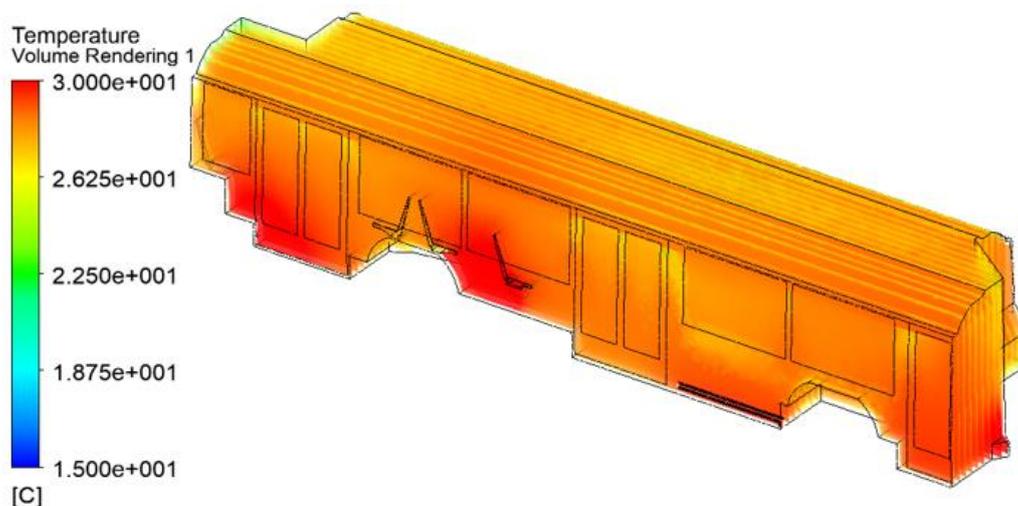


Рис. 4. Результаты моделирования температурного поля обитаемого пространства электробуса

## Библиографический список

1. Дроздов, В.Ф. Отопление и вентиляция. Часть II. Вентиляция / В.Ф. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1984, – 250 с.
2. Палутин, Ю.И. Методические основы совершенствования параметров воздушной среды салонов автомобилей: дис. ...докт. техн. наук / Ю.И. Палутин. – Н. Новгород, 1997, – 327 с.
3. Гегенбах, В. Отопление, вентиляция и микроклимат в салоне автомобиля. Аэродинамика автомобиля / В. Гегенбах. – М.: Машиностроение, 1987, – С. 318-342.
4. Андронов, В.Н. Внутренняя аэродинамика и улучшение микроклимата салона автомобиля: дис. ... канд. техн. наук / В.Н. Андронов. – М., 1987.
5. Андронов, В.Н. Исследование процесса теплообмена в салоне автомобиля. Исследование эксплуатационных качеств тракторов и автомобилей / В.Н. Андронов, Ю.И. Палутин // Труды ГСХИ. – Т. 155. – 1981. – С. 48-52.
6. Бромлей, М.Ф. Проектирование отопления и вентиляции / М.Ф. Бромлей, В.П. Щеглов. – М., 1965.
7. Гнипович, В.И. Исследование кузовов автобусов с целью получения данных для расчета систем отопления и вентиляции: автореферат дисс... канд. техн. наук / В.И. Гнипович. – М., 1972, – 21 с.
8. Joel, M. Devonshire. Sayer Radiant Heat and Thermal Comfort in Vehicles // Human Factors. The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society / M. Devonshire, Joel, R. James. – № 47(4). – 2005. – P. 27-39.

*Дата поступления  
в редакцию: 25.04.2019*

**I.V. Prokhorov, D.O. Butarovich, D.M. Ryabov**

**INVESTIGATION OF THE AIR THERMAL FIELD IN PASSENGER COMPARTMENT  
OF THE ELECTRIC BUS**

Bauman Moscow State Technical University

**Purpose:** Currently, almost all vehicles are equipped with climate control systems. Creating a favorable temperature regime in the cabin when transporting passengers with the least energy costs is a necessary condition for both electric buses and, in general, for the competitiveness of Russian vehicles. The purpose of the article is to experimentally determine the temperature field of the electric bus.

**Approach:** The article describes the experiment conducted to obtain a temperature field in the interior of an electric bus.

**Findings and implications:** The results of air temperature measurements in populated areas will be used for reliable calculation results.

*Key words:* hvac-system, temperature field, interior microclimate, electric bus, energy efficiency.