

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ВОЗДУШНОГО КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ ПОДВОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМУ ОТОПЛЕНИЯ БАТАРЕЙ ЭЛЕКТРОБУСА

Прохоров И.В., к.т.н. Бутарович Д.О.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
prokhoroviv@yandex.ru, buta73@mail.ru

Эксплуатация электробусов в зимних климатических условиях России сопряжена с необходимостью поддержания положительных температур аккумуляторных ячеек тяговой батареи ввиду максимальной доступной энергии при температуре батареи плюс 20...25°C. При эксплуатации аккумуляторных ячеек, имеющих отрицательные температуры, происходит снижение энергии батарей на 20...25 %. Средняя температура в Центральной части России колеблется от минус 18°C до плюс 25°C. Для обеспечения работы батарей в вышеприведенных диапазонах температур применяется установка системы термостатирования. Данные системы в зависимости от условий эксплуатации выполняют как жидкостными, так и воздушными. При воздушном обогреве и охлаждении батареи в качестве источника тепла используют автономный воздушный отопитель: генератор нагретых воздушных газов, а для охлаждения – приточные и вытяжные вентиляторы. Нагретый воздух проходит по коллектору от автономного отопителя к входным вентиляционным отверстиям. Геометрическая форма коллектора влияет на величины расходов воздушных потоков, выдуваемых из четырех выходов. Неравномерность расходов является причиной ненадлежащего прогрева батареи, что в свою очередь приводит к разбалансировке заряда между отдельными батарейными блоками и снижению емкости батареи. Задачей исследования является определение геометрической формы воздушного коллектора, обеспечивающего равные расходы теплового воздуха через выходные отверстия. Решение данной задачи выполнялось итеративными расчетами воздушных потоков в различных геометрических формах коллектора в программном продукте ANSYS CFX. В статье представлены результаты расчета воздушных коллекторов, предназначенных для отопления и вентиляции силовых батарей электробуса. Определена оптимальная форма, обеспечивающая равный расход тепловой энергии через выходные отверстия.

Ключевые слова: электробус, батареи, отопление, расчет воздушного коллектора.

Введение

В настоящее время в мире происходит развитие пассажирского автомобильного электротранспорта: электромобилей и электробусов.

Эксплуатация электробусов в зимних климатических условиях России сопряжена с необходимостью поддержания положительных температур аккумуляторных ячеек тяговой батареи. Максимальная доступная для расходования энергия батарей [1] достигается при работе ячеек в диапазоне температур плюс 20...25°C. При эксплуатации аккумуляторных ячеек, имеющих отрицательные температуры, приводит к снижению энергии батарей на 20...25 %. Средняя температура в Центральной части России колеблется от минус 18°C до плюс 25°C. Также для батарей не менее критично влияние высоких плюсовых температур, свыше 40°C. Для обеспечения работы батареи

в вышеприведенных диапазонах температур батареи применяется установка системы термостабилизации [2]. Данные системы в зависимости от условий эксплуатации выполняют как жидкостными, так и воздушными.

Цель исследования

Целью исследования является определение геометрической формы воздушного коллектора для подвода тепловой энергии в систему отопления батарей электробуса.

Материалы, методы исследования и обсуждение результатов

При воздушном обогреве и охлаждении батареи в качестве источника тепла используют автономный воздушный отопитель: генератор нагретых воздушных газов, а для охлаждения – приточные и вытяжные вентиляторы [3]. Прин-

тип действия воздушного отопителя основан на принудительной вентиляции разогретого воздуха в теплообменной системе отопителя. При сгорании топливной смеси в камере сгорания образовавшиеся газы нагревают стенки теплообменника, который с внешней стороны обдувается воздухом. Воздух, проходя через ребра теплообменника, нагревается и подается в корпус батарей, повышая тем самым температуру аккумуляторных ячеек.

Часто конструкция корпуса тяговой батареи имеет несколько входов для подачи внутрь теплого воздуха (рис.1).

При установке 2-х батарей, представленных на рис. 1, таким образом, что входные отверстия располагаются друг напротив друга, требуется разработка воздушного коллектора, который должен обеспечивать равные расходы между четырьмя входными отверстиями (рис. 2).

Геометрическая форма коллектора влияет на величины расходов воздушных потоков, выдуваемых из четырех выходов. Неравномерность расходов является причиной ненадлежащего прогрева батареи, что в свою очередь приводит к разбалансировке заряда между от-

дельными батарейными блоками и снижению емкости батареи.

Задачей исследования является определение геометрической формы воздушного коллектора, обеспечивающего равные расходы теплового воздуха через выходные отверстия.

Решение данной задачи выполнялось итеративными расчетами воздушных потоков в различных геометрических формах коллектора в программном продукте ANSYS CFX [4, 7].

Модель течения воздуха в коллекторе – турбулентное течение [5]. Однако в проточной области, непосредственно примыкающей к поверхности твердого тела, сказывается тормозящее влияние поверхности. В этой узкой области имеет место резкое изменение скорости по нормали к поверхности от нулевого значения, которое она имеет на самой поверхности, до значения, сравнимого с тем, которое устанавливается вдали от поверхности. Явления, происходящие в пограничном слое, играют существенную роль как в определении величины гидродинамического сопротивления [6], так и в определении интенсивности процессов тепло- и массообмена.

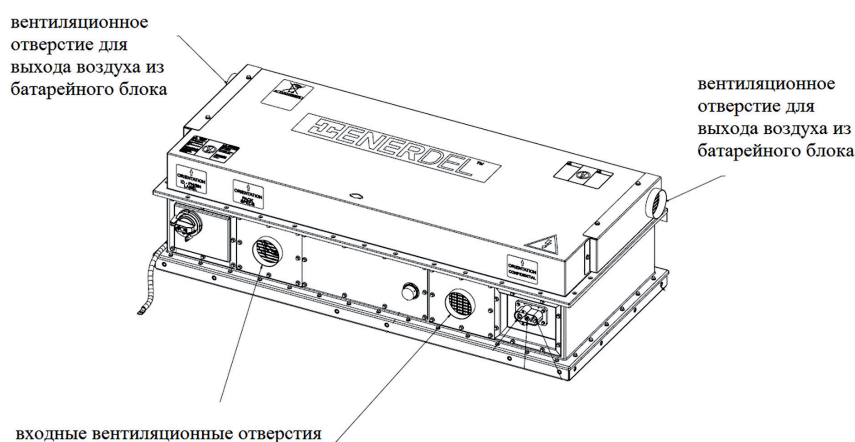


Рис. 1. Батареиный блок с двумя входными отверстиями для подачи теплого воздуха

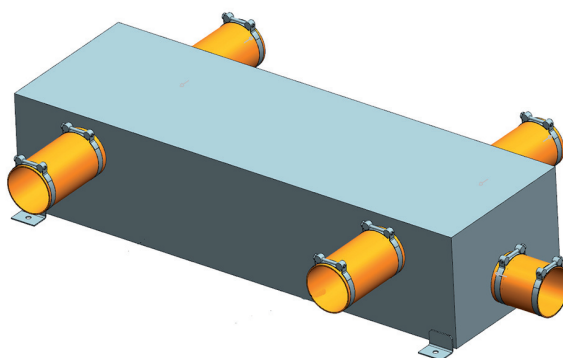


Рис. 2. Воздушный коллектор для отопления двух батарейных блоков

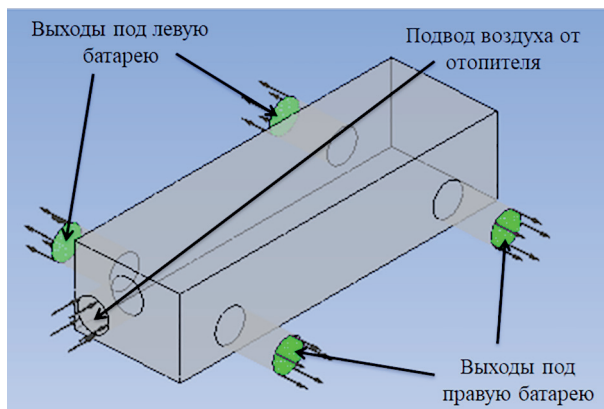


Рис. 3. Граничные условия модели

Поэтому на втором этапе численного моделирования в Ansys CFX, заключающемся в создании расчетной сетки, большое значение имеет учет приграничных слоев проточной модели. От качества созданной сетки на прямую зависит достоверность расчета.

Модель с граничными условиями представлена на рис. 3. Рабочее тело модели – Air at 25 C, опция расчета передачи тепла – Total Energy. На месте входа в коллектор установлено граничное условие – Inlet, с параметром массового расхода отопителя и температурой 50 градусов. На четырех выходах установлено ограничение Outlet с параметром давления 1 атмосфера.

При проектировании прямоугольной конструкции коллектора отопителя аккумуляторных блоков электробуса ЛиАЗ-6274, разрабатываемого при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № ДН01/0001/216/15 между ООО «ЛиАЗ» и МГТУ им. Н.Э. Баумана, были исследованы несколько вариантов опытного образца коллектора (рис. 4). Данный коллектор собран из

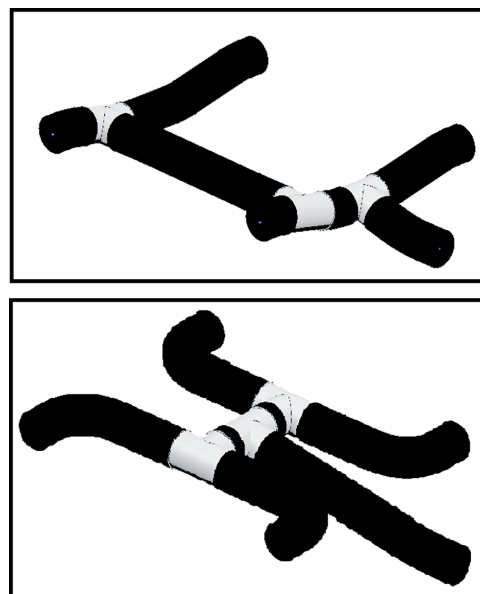


Рис. 4. Воздушный коллектор из полиуретановых рукавов

полиуретановых рукавов, которые соединены тройниками. В отличие от варианта со стальным основанием обладает значительно меньшей массой, простотой сборки, а также более лучшими теплоизоляционными свойствами.

В качестве критериев, по которым оценивалась конструкция коллектора, были выбраны массовый расход воздуха, средняя температура в выходных сечениях, средняя скорость на выходах. Характеристика массового расхода воздуха показывает усредненную интенсивность протекания воздуха через выходы коллектора – равенство этих значений на четырех выходных сечениях позволяет равномерно прогревать аккумуляторные блоки. Средние значения температур на выходах также позволяют оценить интенсивность прогрева батарей. Результаты расчета представлены в табл. 1–3. Линии тока представлены на рис. 5.

Таблица 1

Средняя температура на выходах при окружающей температуре 0 °С

	Прямоугольный стальной коллектор, °С	Полиуретановый коллектор с последовательным соединением входов, °С	Полиуретановый коллектор с параллельным соединением входов, °С
Выход 1	40	48	44
Выход 2	43	37	44
Выход 3	40,5	39	44
Выход 4	44	47	44

Таблица 2

Средняя скорость на выходах

	Прямоугольный стальной коллектор, м/с	Полиуретановый коллектор с последовательным соединением входов, м/с	Полиуретановый коллектор с параллельным соединением входов, м/с
Выход 1	1,2	3	1,8
Выход 2	1,8	0,1	1,5
Выход 3	1,9	0,05	1,5
Выход 4	1,3	3,5	1,8

Таблица 3

Массовый расход на выходах

	Прямоугольный стальной коллектор, 10^{-2} кг/с	Полиуретановый коллектор с последовательным соединением рукавов, 10^{-2} кг/с	Полиуретановый коллектор с параллельным соединением рукавов, 10^{-2} кг/с
Выход 1	-0.91386	-1,9755	-1,2123
Выход 2	-1.1841	~0	-0,8326
Выход 3	-1.1489	~0	-0,8266
Выход 4	-0.83634	-2,1075	-1,2118

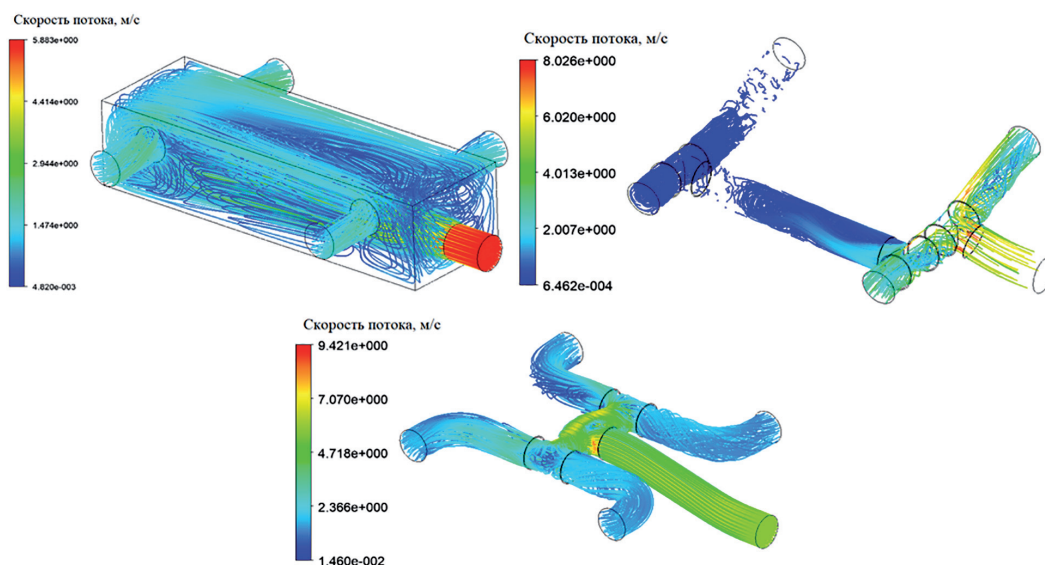


Рис. 5. Линии тока воздуха

Заключение

На основе анализа полученных данных расчета можно сказать, что вариант полиуретанового коллектора с последовательным соединением рукавов неработоспособен и не выполняет передачу воздушного потока к 2 и 3 выходам. При анализе линий тока исходного стального прямоугольного коллектора было выявлено образование застойных зон, темпе-

ратура в которых понижается. Полиуретановый коллектор с параллельным соединением рукавов показывает аналогичные симметричные результаты массового расхода воздуха, как и исходный проектируемый коллектор, но в нем минимизированы паразитные завихрения потока, что в свою очередь положительно сказывается на температуре исходящего воздуха.

Литература

1. Смирнов А.А., Пикалов Н.А. Определение потребной энергоемкости накопителей электробуса методами имитационного моделирования // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журнал. 2016. № 12. С. 43–52.
2. Травников А.Н., Бутарович Д.О. Особенности проектирования систем охлаждения современного транспортного тягового электропривода // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журнал. 2017. № 1. С. 1–9.
3. S. Mahesh, B. Jayaraman and R. Madhumitha. Analysis of air-to-air rotary regenerator for HVAC systems using CFD. // Innovative design and development practices in aerospace and automotive engineering, lecture notes in mechanical engineering, 2017. P. 455–462.
4. Slawomir Blasiak, Jakub E. Takosoglu, Pawel A. Laski. Flow rate analysis of 3/2 directional pneumatic valve by means of Ansys CFX software. // Technical University of Ostrava, Mechanical Series No. 2, 2014, vol. LX article No. 1984. P. 1-6. DOI: 10.22223/tr.2014-2/1984
5. Кривошеев И. А., Чечулин А. Ю., Хохлова Ю. А. Выбор модели турбулентности при расчете потерь давления в проточной части ГТД с использованием программного комплекса ANSYS CFX // Вестник УГАТУ, 2011. № 2(42). С. 68–73.
6. Кувичка А.И., Бутарович Д.О. Расчетное определение гидравлической характеристики системы охлаждения тяговых батарей электробуса // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. Журнал. 2017. № 8. С. 128–136.
7. Карлов А. М., Куфтов А. Ф., Отработка методики численного моделирования трехмерного вязкого течения в осерадиальном колесе центробежного компрессора в программном комплексе ANSYS CFX // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 11. С. 69–80.

References

1. Smirnov A.A., Pikalov N.A. Determination of the required energy capacity of electric buses by imitation modeling methods. *Inzhenernyy vestnik. MGTU im. N.E. Baumana. Elektron. zhurnal*. 2016. No 12, pp. 43–52 (in Russ.).
2. Travnikov A.N., Butarovich D.O. Features of the design of the cooling systems of the modern transport traction electric drive. *Inzhenernyy vestnik. MGTU im. N.E. Baumana. Elektron. zhurnal*. 2017. No 1, pp. 1–9 (in Russ.).
3. S. Mahesh, B. Jayaraman and R. Madhumitha. Analysis of air-to-air rotary regenerator for HVAC systems using CFD. *Innovative design and development practices in aerospace and automotive engineering, lecture notes in mechanical engineering*, 2017. P. 455–462.
4. Slawomir Blasiak, Jakub E. Takosoglu, Pawel A. Laski. Flow rate analysis of 3/2 directional pneumatic valve by means of Ansys CFX software. *Technical University of Ostrava, Mechanical Series No. 2, 2014, vol. LX article No. 1984. P. 1–6. DOI: 10.22223/tr.2014-2/1984*
5. Krivosheev I. A., Chechulin A. Yu., Khokhlova Yu. A. The choice of the model of turbulence in calculating the pressure losses in the flow part of gas turbine engine using the ANSYS CFX software. *Vestnik UGATU*, 2011. No 2(42), pp. 68–73 (in Russ.).
6. Kuvichka A.I., Butarovich D.O. Estimated determination of the hydraulic characteristic of the cooling system of electric bus traction batteries. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana. Elektron. Zhurnal*. 2017. No 8, pp. 128–136 (in Russ.).
7. Karlov A. M., Kuflov A. F. Development of the technique for numerical modeling of three-dimensional viscous flow in an axial-center wheel of a centrifugal compressor in the ANSYS CFX software. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana*. 2012. No 11, pp. 69–80 (in Russ.).

DETERMINATION OF THE GEOMETRIC SHAPE OF THE AIR COLLECTOR FOR SUPPLYING THERMAL ENERGY TO THE HEATING SYSTEM OF ELECTRIC BUS BATTERIES

I.V. Prokhorov, Ph.D. D.O. Butarovich

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, prokhoroviv@yandex.ru, buta73@mail.ru

Operation of electric buses in the winter climatic conditions of Russia is associated with the need to maintain positive temperatures of battery cells of the traction battery, taking into account the maximum available energy at battery temperature plus 20 ... 25 °C. When operating battery cells that have negative temperatures, the energy of the batteries decreases by 20 ... 25%. The average temperature in the central part of Russia ranges from minus 18 °C to plus 25 °C. To ensure the battery operation in the above-mentioned temperature ranges, a thermostating system is installed. Depending on the operating conditions, these systems are performed both liquid and air. For air heating and cooling of the battery, a self-contained air heater is used as a heat source: a generator of heated air gases, and for cooling - supply and exhaust fans. Heated air passes through the collector from the auxiliary heater to the inlet ventilation holes. The geometric shape of the collector affects the flow rates of the air streams blown from the four outlets. Uneven consumption causes improper heating of the battery, which in turn leads to a charge imbalance between the individual battery packs and a decrease in battery capacity. The objective of the study is to determine the geometric shape of the air manifold, which provides equal heat flow through the outlet openings. The solution of this problem was performed by iterative calculations of air flows in various geometric forms of the collector in ANSYS CFX software. The results of calculation of air collectors intended for heating and ventilation of electric bus power batteries are presented in the article. The optimal shape, which ensures an equal flow of heat energy through the outlet holes, is determined.

Keywords: electric bus, batteries, heating, air collector calculation.