

ПАССИВНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Васильев Л.Л., Журавлёв А.С.

Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь, lvasil@hmti.ac.by

Ключевые слова: Электрический самолёт, электрическая силовая установка, терморегулирование, пассивная система охлаждения, тепловая труба, термосифон.

Снижению потребления углеводородного топлива и сокращению вредных выбросов в атмосферу является актуальной задачей. Существенное оздоровление окружающей среды может быть достигнуто путём перевода части авиапарка на электроэнергию.

Оборудование электрических и гибридных самолётов остро нуждается в эффективных системах охлаждения. Мощными источниками тепловыделения являются электродвигатели переменного тока, инверторы, силовые приводы и другие объекты. Применение пассивных систем позволяет отказаться от насосов для перекачки теплоносителя, вентиляторов обдува и экономить электроэнергию, необходимую для питания электродвигателей. Приёмниками тепла в самолётах с электрическим приводом являются конструкция самолёта и окружающий воздух.

Тепловые трубы (ТТ) и термосифоны (ТС) могут быть эффективными промежуточными звеньями между источниками и поглотителями тепла. Ценным качеством этих проводников тепла является их способность поддерживать постоянную температуру охлаждаемых объектов. Эти устройства эффективны, просты в эксплуатации, не требуют обслуживания и энергозатрат на эксплуатацию. Тепло в ТТ и ТС передаётся массой пара в виде скрытой теплоты парообразования от испарителя к конденсатору. В тепловых трубах роль насоса для возврата конденсата из конденсатора в испаритель играет капиллярный фитиль, в термосифонах жидкость движется к испарителю под действием сил гравитации.

Литий-ионные аккумуляторы широко используются в электротранспорте благодаря высокой плотности энергии и длительному сроку службы, однако их характеристики зависят от температуры, которая может регулироваться системами охлаждения на базе тепловых труб и кольцевых термосифонов.

Чрезмерный нагрев статора и ротора электродвигателя отрицательно сказывается на крутящем моменте и общей эффективности работы магнитов. На рис. 1 показано применение тепловой трубы для охлаждения статора двигателя. Между слоями электрической обмотки статора вставлены плоские ТТ для отвода более 300 Вт тепла при поддержании температуры источника тепловыделения ниже его предела 180 °С [1].

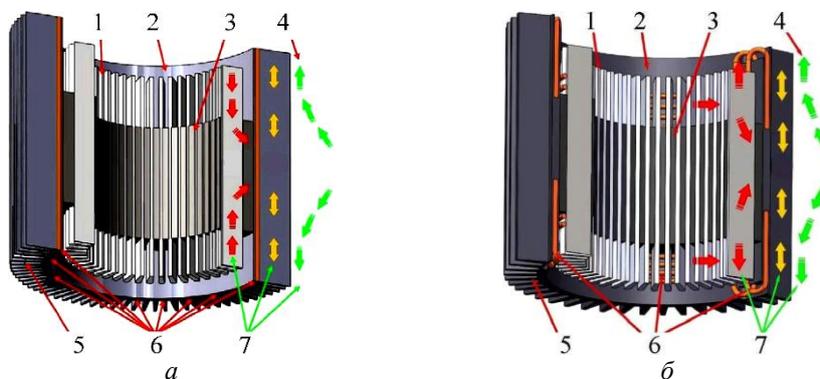


Рисунок 1 – Охлаждение статора двигателя тепловыми трубами с прямо встроенным в корпус модулем (а) и с огибающим модулем (б): 1 – обмотка; 2 – кожух статора; 3 – сердечник статора; 4 – охлаждающий воздух; 5 – ребра, рассеивающие тепло; 6 – плоская тепловая труба; 7 – направление теплового потока [1]

Для интенсификации теплообмена внутри ротора электродвигателя может быть применена тепловая труба, выполненная в виде центробежной цилиндрической паровой

камеры (рис. 2). Предлагаемая в настоящей работе конструкция охладителя ротора совместима с различными теплоносителями (жидкость, газ, двухфазное проточное, аэрозольное охлаждение). Внешняя оболочка испарителя паровой камеры служит охладителем, конденсатор образован внутренней трубой, по которой проходит поток охлаждающего вещества (жидкость, двухфазный поток, распылённые микрокапли масла и т. п.). В частности, это устройство представляет собой симбиоз центробежной паровой камеры, расположенной на внутренней трубе, охлаждаемой движущимся внутри нее агентом (цилиндрическая паровая камера), и цилиндрической тепловой трубы. Ротор электродвигателя может охлаждаться с помощью вставленных внутрь ротора центробежных тепловых труб (рис. 3) [3]. Большие потери тепла в роторе имеют место в двигателях с повышенным проскальзыванием и частотным регулированием. Эффективность применения тепловых труб для охлаждения электродвигателя значительно возрастает, если двигатель не обдувается непосредственно снаружи воздухом, что характерно для двигателей с тщательным регулированием частоты вращения.

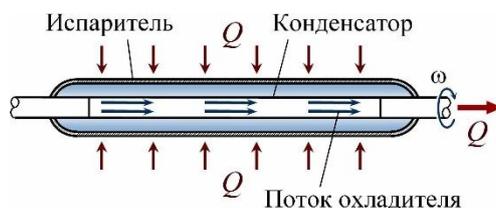


Рисунок 2 – Центробежная цилиндрическая паровая камера [2]

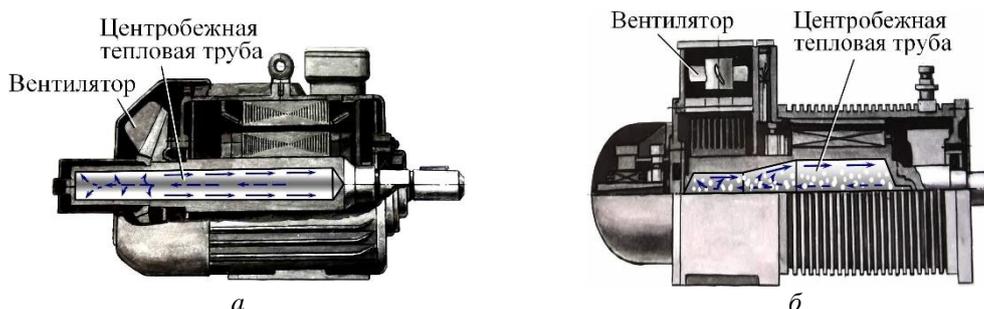


Рисунок 3 – Электродвигатель со вставленной центробежной тепловой трубой, конденсатор которой охлаждается потоком воздуха за счет самовентиляции (а) и вентилятора с независимым приводом (б) [3]

В бортовых системах терморегулирования могут быть использованы различные конструкции тепловых труб и термосифонов [4]. Такой подход перспективен, гарантирует надежность оборудования, обеспечивающего работу электрических силовых установок и другого бортового оборудования.

Исследования выполняются за счет гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований № Т23РНФ-227 в рамках совместного белорусско-русского проекта.

Список литературы

1. Fang G., Yuan W., Yan Z., Sun Y., Tang Y. Thermal management integrated with three-dimensional heat pipes for air-cooled permanent magnet synchronous motor. Applied Thermal Engineering. 2019. Vol. 152. P. 594-604.
2. Васильев Л.Л. Теплообменники на тепловых трубах. Минск: Наука и техника, 1981. 143 с.
3. Vasiliev L.L., Zhuravlyov A.S. Two-phase heat transfer devices for passive cooling of electric and hybrid aircraft onboard equipment // International Journal of Sustainable Aviation. 2023. Vol. 9, №. 2. P. 89-114.

Сведения об авторах

Васильев Л.Л., доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник. Область научных интересов: тепловые трубы, термосифоны, тепловые трансформаторы,

рекуперация тепла, энергосбережение, адсорбционные системы, использование солнечной энергии, криогенная техника.

Журавлёв А.С., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. Область научных интересов: тепломассообмен при фазовых переходах (в том числе в капиллярно-пористых средах, в микро- и мини-каналах), двухфазные теплообменники, терморегулирование.

PASSIVE SYSTEMS FOR THERMOREGULATION OF POWER INSTALLATIONS OF ELECTRIC AIRCRAFT

Vasiliev L.L., Zhuravlyov A.S..

A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute, Minsk, Belarus, lvasil@hmti.ac.by

Keywords: thermal management, passive cooling system, heat pipe, thermosyphon.

The possibilities of using autonomous systems based on heat pipes for thermal control of equipment in electric aircraft are considered. The use of a heat pipe for cooling electric motor components is shown. To intensify the rotor cooling, a heat pipe can be used, made as a cylindrical vapor chamber.