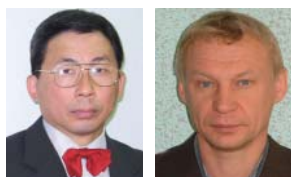


# Теплогенерирующая электромеханическая система отопления пассажирского вагона

**К. К. КИМ**, докт. техн. наук, профессор, член IEEE и Королевской научной ассоциации, действительный член Нью-Йоркской Академии наук и Европейской Академии естественных наук,

**С. Н. ИВАНОВ**, канд. техн. наук, профессор ПГУПС



**Нестандартный взгляд на проблему отопления пассажирских вагонов позволил создать на базе электромеханических преобразователей серию оригинальных эффективных теплогенерирующих устройств, характеризующихся повышенным КПД.**

Согласно техническим условиям почившего МПС на проектирование и постройку пассажирских вагонов, температура внутри вагона должна быть  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  при наружной температуре до  $-40^\circ\text{C}$  и при скорости движения 160 км/ч, при этом отклонение температуры от указанной по высоте и по длине вагона не должно превышать  $3^\circ\text{C}$ .

Ожидаемое вступление России во Всемирную торговую организацию требует ориентации отечественных разработчиков и производителей железнодорожной техники на жесткие требования мирового сообщества в отношении загрязнения окружающей среды и эффективности работы указанной продукции. А как на самом деле обстоит ситуация в России?

В 90% пассажирских вагонов в Российской Федерации используется водогрейный котел, снабженный топочной камерой для угля и 24 трубчатыми электронагревательными элементами (ТЭН). Не говоря об «экологичности» угольных производств, следует отметить, что при работе на угле КПД котла не превышает 47%. При использовании ТЭН требуется либо отбирать электроэнергию для питания ТЭН у локомотивов при централизованной системе электропитания, либо использовать автономные дизель-генераторы, либо вводить в состав вагон-электростанцию, эксплуатация которой характеризуется повышенным уровнем вентиляторного шума.

Опыт Финляндии, где в каждом вагоне устанавливается водогрейный

котел мощностью 40 кВт на дизельном топливе, в свете охраны окружающей среды и неуклонного повышения цен на дизельное топливо также вызывает ряд вопросов определенного характера.

Как альтернатива к существующим системам отопления сотрудниками кафедры ТОЭ Петербургского государственного университета путей сообщения и Комсомольского-на-Амуре государственного технического уни-

верситета был предложен и разработан оригинальный метод получения тепла с помощью теплогенерирующего электромеханического преобразователя (ТЭМП). На базе данного метода создана серия конструктивных разработок, новизна которых защищена 13 патентами.

ТЭМП (рис. 1а, б) по сути своей является асинхронным двигателем, но, в отличие от последнего, где нагрев конструкции, сопровождающий процесс преобразования электрической энергии в механическую, носит негативный характер, выделяющееся тепло в ТЭМП идет на нагрев теплоносителя, т.е. на отопление вагона. Сказанное приводит к увеличению КПД устройства.



Рис. 1

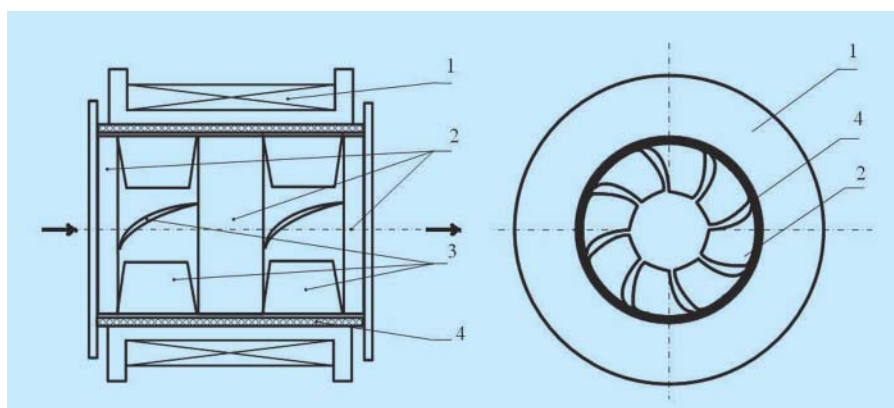


Рис. 2



Рис. 3

На рис. 2 приведена конструктивная схема ТЭМП, соответствующая фотографией, показанным на рис. 1.

Теплогенерирующий электромеханический преобразователь состоит из магнитопровода с размещенной на нем первичной обмоткой 1 и вращающейся короткозамкнутой вторичной обмотки (вращающийся нагревательный элемент), выполненной в виде несплошного полого цилиндра 2, на внутренней поверхности которого сформированы и жестко связаны с ней напорные лопасти 3. Нагреваемый теплоноситель, направление которого показано жирными стрелками, проходит через внутреннюю полость цилиндра 2. Неподвижная часть ТЭМП 1 представляет собой капсулированный изоляционным антифрикционным самосмазывающимся материалом статор ТЭМП.

Неподвижный нагревательный элемент (НЭ) 4 является деталью, входящей в состав статора, и после установки образует с ним неразборную конструкцию. Он изготавливается из тонкостенной немагнитной электропроводящей фольги, гальванически не связанной с электропроводящими элементами статора, и размещается в специальной кольцевой канавке. Закрепление и электрическое соединение НЭ обеспечивается с помощью пайки высокотемпературным припоем непосредственно в месте установки.

Вращающийся нагревательный элемент (ВЭ) и магнитопровод отделены теплоизолирующим слоем из антифрикционного неэлектропроводящего материала, выполняющего функцию одностороннего радиальноупорного подшипника скольжения и составляющего неразделимую часть с магнитопроводом и первичной обмоткой. Конструкционную целостность устройства обеспечивают две стянутые

шпильками торцевые крышки (упорная и фиксирующая), изготовленные на базе стандартных подшипниковых щитов, входящих в комплект электродвигателей серии 4А(5А) или 4П. Для обеспечения герметичности между крышками и торцевыми поверхностями капсулированного статора установлены упругие тороидальные демпферы из термостойкой резины, которые также могут выполнять функции закручивающего и спрямляющего элементов. Сопряжение ТЭМП с внешним отопительным контуром осуществляется с помощью резьбовых штуцеров, закрепленных на крышках с помощью сварки или гаск (рис. 3). Между вращающимся нагревательным элементом и фиксирующей крышкой расположено уплотнительное кольцо из самосмазывающегося материала, ограничивающее перемещение ВЭ в осевом направлении.

Теплогенерирующий электромеханический преобразователь работает следующим образом. При подаче напряжения, например, трехфазного от сети переменного тока, по первичной обмотке начинает протекать ток, создающий намагничивающую силу и вращающееся магнитное поле, которое наводит на основании закона

электромагнитной индукции во вторичных обмотках электродвижущую силу (ЭДС). Токи, обусловленные этой ЭДС, взаимодействуют с магнитным полем и приводят к нагреву вторичных обмоток и возникновению вращающего момента. При этом неподвижный нагревательный элемент нагревается вихревыми токами и является основным источником тепловой мощности. Одновременно подвижный нагревательный элемент приходит во вращение со скоростью, определяемой параметрами ТЭМП. При вращении ВЭ теплоноситель перемещается по пути с минимальным гидравлическим сопротивлением, т.е. вдоль оси ТЭМП, и отнимает тепло от ВЭ и внутренней поверхности НЭ. Как показали предварительные оценки, не менее 85% мощности данного устройства идет на нагрев теплоносителя. Высокая эффективность устройства, а именно увеличение количества нагреваемого и перемещаемого ТЭМП теплоносителя, является следствием чрезвычайно низкого осевого гидравлического сопротивления устройства. Количество теплоты, выделяемое вторичными обмотками, и производительность (т.е. количество нагреваемого и перемещаемого теплоносителя в единицу време-

Табл. 1

№	Наименование величины	Значение
1	Коэффициент полезного действия	0,825
2	Коэффициент мощности	0,88
3	Подводимая мощность, кВт	3,03
4	Наружный диаметр сердечника статора, м	0,131
6	Длина сердечника статора, м	0,0983
7	Принятое значение длины сердечника, м	0,1
8	Отношение длины сердечника к наружному диаметру	0,748
9	Предельное значение отношения длины сердечника к наружному диаметру	0,775
10	Внутренний диаметр сердечника статора, м	0,075
11	Воздушный зазор между статором и неподвижным нагревательным элементом (НЭ), м	0,0001
12	Воздушный зазор между статором и вращающимся нагревательным элементом (ВЭ), м	0,001
13	Наружный диаметр вращающегося нагревательного элемента, м	0,073
14	Число витков в обмотке фазы	192
15	Номинальный фазный ток, А	4,6
16	Линейная нагрузка статора, А/м	22800
17	Допустимая линейная нагрузка, А/м	25000
18	Плотность тока в обмотке статора, А/м <sup>2</sup>	6488000
19	Тепловая нагрузка, А/м <sup>3</sup>	1,533 10 <sup>-11</sup>

Табл. 2

№ помещения	Тип помещения	Температура внутренняя, °С	Ограждающие конструкции			Q <sub>пом.</sub> Вт
			элементы	размеры		
				длина	ширина	
			наружн. стены	1,15	2,3	
1, 13	туалет	18	пол	1,15	1,3	412
			окно	0,64	0,8	
			потолок	1,15	1,3	
			наружн. стены	1,9	2,3	
2	служебное помещение	22	пол	1,9	1,5	786
			потолок	1,9	1,5	
			окно	0,64	0,8	
			наружн. стены	1,8	2,3	
3...12	купе	22	пол	1,8	2,1	1253
			потолок	1,8	2,1	
			окно	0,96	0,8	
			наружн. стены	1,15	2,3	
14	тамбур	20	пол	1,15	1,55	633
			потолок	1,15	1,55	
			окно	0,64	0,8	
			наружн. стены	18	2,3	
			пол	18	0,75	
			потолок	18	0,75	
15	коридор	20	окно 1	0,64	0,8	4753
			окно 2	0,96	0,8	
			...	...	...	
			окно 10	0,96	0,8	
			наружн. стены	3,05	2,3	
16	тамбур	20	пол	3,05	1,45	969
			потолок	3,05	1,45	
			окно	0,64	0,8	
Суммарная мощность, Вт						20487

ни) в номинальном режиме работы зависит в основном от величины вторичного тока и скорости ВЭ.

Был изготовлен опытный образец со следующими характеристиками и параметрами: 1) номинальная мощность — 2 кВт; 2) номинальное напряжение — 220 В; 3) частота питающей сети — 50 Гц; 4) число полюсов — 2; 5) теплоноситель — вода, ТОСОЛ или трансформаторное масло<sup>1</sup>.

Основные технико-экономические показатели ТЭМП приведены в табл. 1.

Температура теплоносителя (воды) на выходе ТЭМП находилась в диапазо-

не 90–95 °С. При использовании ТОСОЛ или масла температура теплоносителя легко повышалась с помощью регулятора статорного напряжения, в котором постоянное напряжение преобразуется в переменное промышленной частоты, а затем в переменное регулируемой частоты.

Значение производительности данного генератора составило 0,0045 м<sup>3</sup>/с, скорость жидкости равнялась 1 м/с.

Так как территория России располагается в различных климатических поясах и перепады температур достаточно велики, за расчетную зимнюю температуру наружного воздуха

принималась максимально низкая, равная –50 °С.

Результаты расчета мощности системы отопления приведены в табл. 2.

Для рассматриваемого варианта ТЭМП была выбрана двухтрубная система водяного отопления вагона с нижней разводкой. Установленная мощность системы отопления принималась равной 22 кВт. Базовой конструкцией неподвижной части теплогенератора является статор электродвигателя 4А180М2У3 мощностью 30 кВт.

Гидравлический расчет проводился по двум циркуляционным кольцам (общая длина 44,1 м) и сводился к подбору диаметров труб с обеспечением суммарных потерь напора в системе 343,7 Па, не превышающих расчетное циркуляционное давление.

По результатам расчета площадей теплоотдающих поверхностей помещений вагона (с учетом номинальных плотностей теплового потока при стандартных условиях работы, температурного напора, равного разности полусуммы теплоносителя на входе (95 °С) и выходе (70 °С) отопительного прибора, и требуемой температуры воздуха в помещениях) были выбраны 16 настенных конвекторов без кожуха типа «Прогресс 15».

Сравнение полученных результатов с технико-экономическими показателями традиционных систем отопления подтвердило возможность эффективного применения ТЭМП в качестве источников тепловой энергии для пассажирских вагонов.

В заключение следует отметить, что ТЭМП перспективно использовать не только на железнодорожном транспорте, но и в авиации, космической технике, морском и речном флотах, для индивидуального обогрева служебных, офисных и жилых помещений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ким К. К. Основы проектирования гидроэлектродинамических теплогенераторов / К. К. Ким, С. Н. Иванов, С. В. Уханов // Электроэнергетика. Электротехника. Электротехническая промышленность. — 2008. — № 4. — С. 14–16.
2. Ким К. К. Теплогенерирующий электромеханический преобразователь / К. К. Ким, С. Н. Иванов, И. М. Карпова // Электротехника. — 2008. — № 9. — С. 46–52.
3. Kim K. K., Ivanov S. N. New type of electro-heat-generator // Digests of XVIII International Conference on Electrical Machines, ICEM'08, Vilamoura, Portugal, 6–9 September 2008. — Pp. 5–12.

<sup>1</sup>Тепловые расчеты выполнялись с привлечением пакета ELCAT (разработчик — кооператив ТОР).