



УДК 621.316
DOI: 10.25206/1813-8225-2022-182-54-58

**А. А. КУЗНЕЦОВ
С. С. ГОРОБЕЙ**

Омский государственный
университет путей сообщения,
г. Омск

СНИЖЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

В статье представлен обзор схемных решений и описаны элементы системы электроснабжения пассажирского вагона. Описана комбинированная система отопления пассажирского вагона. Представлены результаты экспериментальных исследований по экономии электрической энергии при помощи регуляторов напряжения. В статье предложен алгоритм управления электронагревателями на основе использования полупроводниковых регуляторов мощности. Экспериментальные исследования с применением предложенных высоковольтных регуляторов напряжения в составе отопителей пассажирских вагонов позволили снизить расходы на электроснабжение пассажирского вагона от 3 % до 5 % при их эксплуатации.

Ключевые слова: электроснабжение, пассажирский вагон, отопление, эксперимент, регулятор напряжения, экономия электроэнергии.

Введение. Поддержание комфортной температуры в помещении для человека и повышение требований к безопасности перевозок привело к росту мощностей электрооборудования и значительному потреблению электрической энергии в пассажирских вагонах. Цена электрооборудования может достигать 1/3 от стоимости всего вагона, а расходы на его использование до 40 % от общих затрат на техническую эксплуатацию вагона. К электрооборудованию пассажирских вагонов со стороны служб эксплуатации имеется ряд нареканий в части надежности и экономичности, поэтому в настоящее время назрела необходимость в пересмотре существующих и создании новых систем производства, распределения и использования электрической энергии в вагонах пассажирских поездов.

Температура воздуха в пассажирских вагонах должна соблюдаться санитарными требованиями, это одно из важных условий транспортировки пас-

сажиров в поездах дальнего и ближнего следования. Поэтому вагон должен быть оснащен безопасными и экономичными системами отопления и электроснабжения, которые могли бы поддерживать оптимальную температуру в пассажирских помещениях при разных температурах наружного воздуха, если выполняется режим работы системы в соответствии с необходимыми условиями. Обслуживающий персонал вагонов должен знать устройство систем отопления, уметь поддерживать необходимый режим работы отопительной установки и в аварийных случаях устранять возникающие в эксплуатации неисправности [1].

Годовые расходы на отопление пассажирских вагонов на Западно-Сибирской железной дороге (ЗСЖД) сведены в табл. 1.

В вагонах, эксплуатируемых на железных дорогах России, применяют следующие системы отопления:

Таблица 1

Годовые расходы на отопление пассажирских вагонов на Западно-Сибирской железной дороге

Год	Расход ЭЭ на отопление пассажирских вагонов, Квт·ч
2017	18744265
2018	20193297
2019	21179456
2020	21193221

1. Индивидуальное водяное отопление — с использованием отдельного, стоящего внутри вагона котла, работающего на твердом топливе.

2. Комбинированное — с использованием электроэнергии либо каменного угля для подогрева воды в котле.

3. Электрическое — с использованием специального вагона-электростанции либо от контактной сети при помощи подвагонного генератора.

4. Смешанное — комбинация из водяного отопления при подогреве воды в котлоагрегате за счет сжигания угля и электрического отопления от подвагонного электрогенератора при нагреве внутреннего воздуха в вагоне электропечами [2].

Теоретическая часть. Пассажирские вагоны международного следования обычно используют пароводяную магистраль. Пар расходуется при движении вагонов по дорогам зарубежных стран. При этом стоит отметить, что пар используется только для нагрева воды в подогревателе.

Обычно в пассажирских вагонах используется комбинированная система отопления. При этой системе отопления вода в котле может нагреваться как сжиганием угля в топке, так и при помощи электронагревательных элементов (ТЭН).

Преимуществами этой системы являются простота, легкость обслуживания и надежность конструкции. Главный минус этой системы — большие габариты котельной установки (около 4 кв. м) с использованием отдельного вагона-электростанции.

По принятым техническим условиям на разработку и строительство пассажирского вагона тем-

пература внутри помещения вагона должна быть не ниже 20–22 °С, при наружной температуре воздуха до –40 °С и скорости движения поезда 100–180 км/час, при этом отклонение температуры от указанной по высоте и длине вагона не должно быть больше 3 °С. В большинстве случаев в пассажирских вагонах в РФ используется комбинированный водогрейный котел, который имеет топочную камеру для твердого топлива с трубчатыми электронагревательными элементами (ТЭН) [3].

При работе на угле средний КПД котла равен 45 %. При использовании ТЭН необходимо либо отбирать электроэнергию для его питания у локомотивов при централизованной системе электропитания, либо использовать автономные дизель-генераторы, либо вводить в состав вагон-электростанцию, эксплуатация которой характеризуется повышенным уровнем шума. Оригинальный метод получения тепла для пассажирского вагона с помощью теплогенерирующего электромеханического преобразователя (ТЭМП), характеризующегося повышением КПД [4].

Комбинированная система отопления пассажирского вагона

Система отопления вагона состоит из следующих элементов:

- отопительный котел с расширителем;
- разводящие и отопительные трубопроводы;
- циркуляционный и подпиточный ручной насос;
- наливная труба;
- обогреватели трубной системы водоснабжения;
- возвратная труба с пробкой;
- калориферы системы воздушного отопления;
- трубопроводы, соединяющие калориферы воздушного отопления с котлом;
- воздухоотводчики;
- контрольно-измерительные приборы, арматура для регулирования и управления системой.

В современных пассажирских вагонах постройки ОАО «ТВЗ» применяется комбинированная система отопления. В отопительном котле теплоноситель нагревается высоковольтными электронагревателями или твердым топливом. В рубашке котла отопления установлены двадцать четыре высоковольтных нагревательных элемента, общая

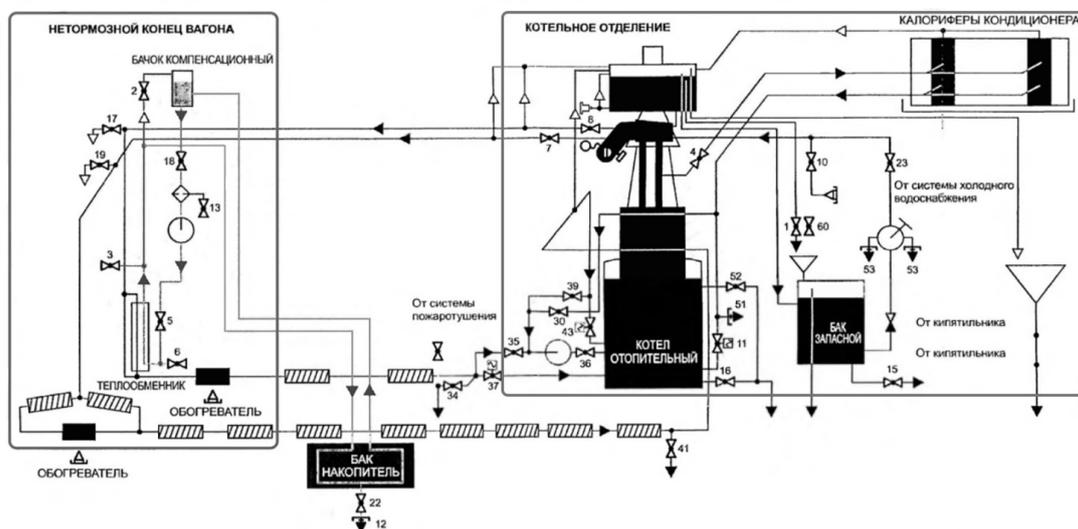


Рис. 1. Схема комбинированной системы отопления пассажирского вагона

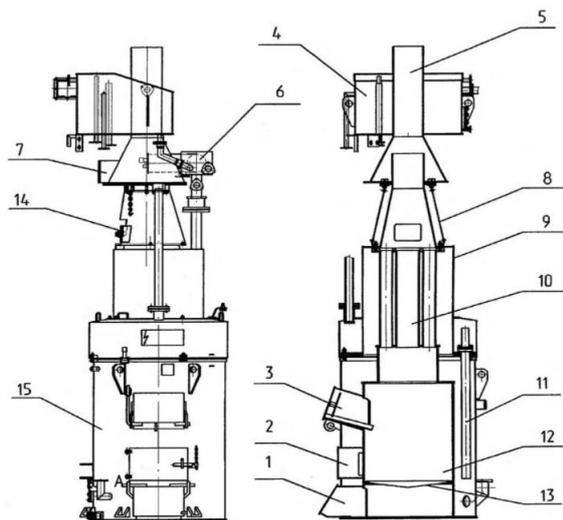


Рис. 2. Котел отопительный:

- 1 — люк зольника; 2 — люк шуровочный;
 3 — люк загрузочный; 4 — расширитель;
 5 — дымовая труба; 6 — коллектор; 7 — прерыватель тяги;
 8 — кожух; 9 — рубашка; 10 — газоход;
 11 — высоковольтный трубчатый нагреватель;
 12 — топочная камера; 13 — колосниковая решетка;
 14 — лючок для чистки газохода; 15 — топка

мощность которых составляет 48 кВт. Электронагревательные элементы, подключены к сборной высоковольтной подвагонной магистрали напряжением 3000 В. Силовая аппаратура управления отоплением вагона: контакторы, предохранители и разъединитель размещены в высоковольтном подвагонном ящике. Нагревательные элементы объединены в две параллельные группы мощностью по 24 кВт каждая. Группы состоят из двух параллельных подгрупп по шесть последовательно соединенных элементов. Нагревательный элемент рассчитан на мощность 2 кВт и напряжение 500 В. Управление группами электронагревательных элементов осуществляется двумя контакторами. Включение и отключение контакторов осуществляется с пульта управления электрооборудованием пассажирского вагона [5].

Недостатком существующей системы управления отоплением вагона является дискретность управления. Две ступени изменения мощности нагревательных элементов 50 % или 100 % не обеспечивают своевременного реагирования на изменение температурного режима в вагоне, вызывают перерасход электрической энергии на отопление

вагона. Отопление вагона осуществляется путем нагрева теплоносителя в котле высоковольтными электронагревателями или при сгорании органического топлива (рис. 1).

Теплоноситель подается от коллектора в верхние разводящие трубы сети отопления, откуда по стоякам — в нижние отопительные оребренные трубы. Тепло за счет конвективного теплообмена передается окружающему воздуху. Охлажденный теплоноситель циркуляционным насосом подается обратно в котел, подпитка системы происходит из компенсационного бачка (рис. 2) [6].

Для нагрева теплоносителя при помощи электроэнергии в котел вертикально вмонтированы двадцать четыре высоковольтных нагревательных элемента (рис. 3), мощностью по 2 кВт каждый, при номинальном напряжении 500 В (максимальное напряжение 670 В) [7].

Все нагревательные элементы (ЭН) (рис. 4) соединены в две параллельные группы (по 12 шт.), каждая из которых защищена своим предохранителем. Группы управляются контакторами К1 и К2 и состоят из двух параллельных подгрупп по шесть последовательно соединенных элементов [4].

Существующие методы управления отопителями построены на релейном поддержании заданной температуры пассажирского вагона. Используется включение заданного количества ТЭНов при достижении нижнего уровня регулирования и их выключение при достижении верхнего уровня регулирования. Применение полупроводниковых регуляторов мощности позволяет снизить затраты электрической энергии на отопление пассажирского вагона. В статье предлагается алгоритм управления электронагревателями на основе полупроводниковых регуляторов мощности. Рабочее напряжение регуляторов выбирается из условия нахождения регулируемой температуры вблизи нижней допустимой границы.

Основным техническим результатом будет являться увеличение коэффициента мощности устройства по всему диапазону регулирования мощности нагрузки, уменьшение нелинейных искажений тока, напряжения в питающих сетях, улучшение функциональных возможностей устройства, питающегося от источников энергии переменного и постоянного тока с одновременным преобразованием полного входного электрического сопротивления устройства [8].

В данном способе и устройстве регулирования мощности нагрузки происходит плавное изменение входного электрического сопротивления устройства с одновременным преобразованием характера элек-

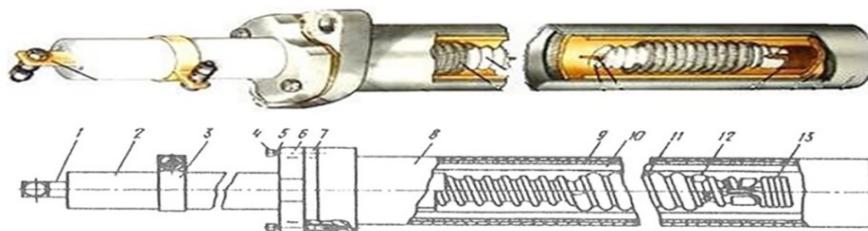


Рис. 3. Высоковольтный нагревательный элемент:

- 1 — зажим; 2 — высоковольтный изолятор; 3 — скоба; 4 — болт;
 5 — шайба; 6 — керамический фланец; 7 — резиновая прокладка;
 8 — стальной корпус; 9 — графитовая оболочка; 10 — кварцевая втулка (стакан);
 11 — керамический стержень; 12 — нагревательная спираль;
 13 — обратный провод

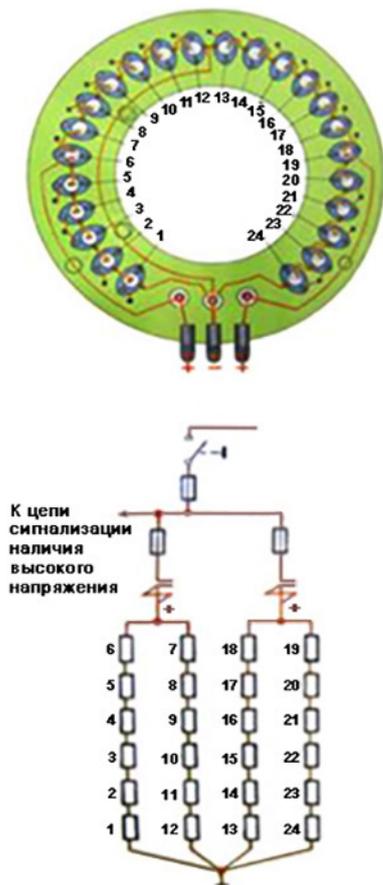


Рис. 4. Схема соединения нагревательных элементов
 Источник: Буканов М. А., Второв А. К., Кантор В. Б.[и др.]. Общий курс и правила технической эксплуатации железных дорог / под ред. М. Н. Хацкевича. Москва: Транспорт, 2010. С. 188.



Рис. 5. Схема электрическая структурная

трического входного сопротивления в активную составляющую данного сопротивления.

Данный способ и устройство регулирования мощности имеют следующие достоинства:

1) коэффициент мощности предлагаемого технического решения близок к единице по всему диапазону регулирования мощности нагрузки [9];

2) от источника энергии постоянного тока потребляется постоянный ток, а от источника энергии

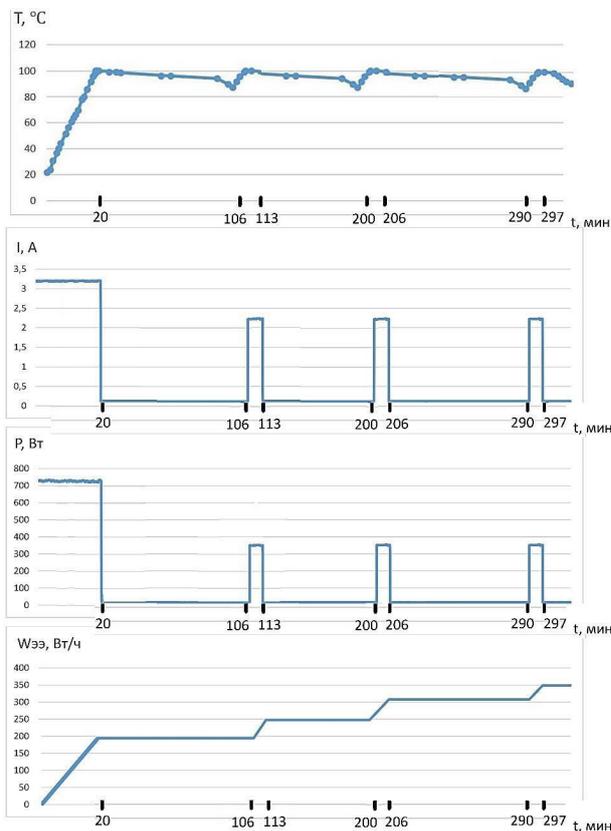


Рис. 6. Графики зависимости температуры $T(t)$, потребляемого тока $I(t)$, активной мощности $P(t)$ и электрической энергии $W_{эз}(t)$

переменного тока потребляется синусоидальный ток, поэтому пропадают нелинейные искажения напряжения в питающих сетях во время работы устройства [9];

3) коэффициент пульсаций становится меньше;

4) улучшается технический функционал устройства [10].

Результаты экспериментов. Экспериментальные исследования экономии электрической энергии на отопление проходили на нагревателях меньшей мощности на пониженном напряжении для проверки возможности экономии электроэнергии с применением современных регуляторов мощности напряжения типа ВТА 16-600 с током нагрузки 16 А [11].

В эксперименте было использовано следующее оборудование:

1. Электронагреватель объемом 3,5 л; напряжение питания — 220 В, 50 Гц; мощность — 650 Вт; тип нагревательного элемента — закрытая спираль, материал корпуса — металл (двойные стенки).

2. Электрический регулятор напряжения типа ВТА 16-600 с током нагрузки 16 А: напряжение питания — 220 В, 50 Гц; максимальная мощность — 2000 Вт, изменение напряжения — от 50 В до 220 В.

3. Термометр электронный с зондом: диапазон измерения — от минус 50 °С до плюс 110 °С, погрешность — ± 1 °С.

4. Энерготестер ПКЭ-А.

5. Осциллограф АСК-2031.

Подключение оборудования и схема электрическая структурная (рис. 5) соответственно.

Напряжение $U_{пер} = 230$ В, 50 Гц. При нагреве воды плюс 100 °С происходит автоматическое отключение ТЭНов. При остывании воды до темпера-

туры плюс 87 °С, также происходит автоматическое включение ТЭНов. Общее количество циклов — три раза. Обработка результатов эксперимента (рис. 6). Общее потребление электроэнергии без регулятора напряжения (за 5 часов) составляет $W_{39} = 348,73$ Вт/ч.

Общее потребление электроэнергии с регулятором напряжения (за 5 часов) составляет $W_{39} = 336,54$ Вт/ч, что позволило сэкономить 3,6 % электроэнергии. В масштабах Западно-Сибирской железной дороги, согласно данным табл. 1, в 2020 году, экономия могла составить 762956 кВт·ч электрической энергии

Выводы. Устройства электроснабжения и отопления пассажирских вагонов в большинстве случаев используют релейный алгоритм управления при поддержании требуемой температуры. В статье предложен алгоритм управления электронагревателями на основе использования полупроводниковых регуляторов мощности. Рабочее напряжение регуляторов выбирается из условия нахождения регулируемой температуры вблизи нижней допустимой границы. Компоновка силовой части на базе высоковольтных регуляторов напряжения в составе отопителей пассажирских вагонов позволяет снизить расходы на электроснабжение пассажирского вагона от 3 % до 5 % при их эксплуатации.

Библиографический список

1. Douglas H., Roberts C., Hillmansen S. [et al.]. An assessment of available measures to reduce traction energy use in railway networks // *Energy Conversion and Management*. 2015. Vol. 106. P. 1149–1165. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.10.053'
2. Астраханцев Л. А., Рябченко Н. Л., Тихомиров В. А. [и др.]. Электронные преобразователи // *Железнодорожный транспорт*. 2008. № 10. с. 54.
3. Wei M., Wang W., Ruonan H. [et al.]. Auxiliary power supply system of passenger train based on photovoltaic and energy storage // *IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. 2016. P. 784–788. DOI: 10.1109/ICIEA.2016.7603688.
4. Егоров В. П. Эксплуатация электрооборудования пассажирских вагонов. Москва: Транспорт, 2012. 296 с.
5. Бурдасов Б. К., Нестеров С. А. Системы электроснабжения и преобразователи для пассажирских вагонов // *Вагонный парк*. 2012. № 6. С. 33–39.
6. Матвиенко А. С., Шиверских М. Б. Модернизация автономной системы отопления пассажирского вагона // *Транс-*

портная инфраструктура сибирского региона. 2017. Т. 2. С. 500–503.

7. Вагоны пассажирские магистральных железных дорог. Инструкция по техническому обслуживанию оборудования. Москва: Транспорт, 2010. 80 с.

8. Буканов М. А., Второв А. К., Кантор В. Б. [и др.]. Общий курс и правила технической эксплуатации железных дорог / под ред. М. Н. Хацкевича. Москва: Транспорт, 2010. 394 с.

9. Пат. № 2388136 РФ, МКИ Н 02 Р 27/08, Н 02 Р 3/18, Н 02 М 7/527. Способ регулирования мощности и устройство преобразователя сопротивления для электрических машин переменного тока / Алексеева Т. Л., Астраханцев Л. А., Рябченко К. П. № 2008100829/09; заявл. 09.01.08; опублик. 20.06.02, Бюл. № 12.

10. Leonhard W. *Control of Electrical Drives*. Springer-Verlag, Berlin. 1999. 460 с. ISBN 978-3-642-56649-3. DOI: ISBN: 978-3-642-56649-3.

11. Khovanskyi S., Pavlenko I., Pitel J. [et al.] Parameter Identification of the Heat Supply System in a Coach 2021 // *Advanced Manufacturing Processes II*. DOI: 10.1007/978-3-030-68014-5_62.

КУЗНЕЦОВ Андрей Альбертович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск.

SPIN-код: 5259-0531

AuthorID (РИНЦ): 358976

AuthorID (SCOPUS): 56824984500

Адрес для переписки: kuznetsovaa.omgups@gmail.com

ГОРОБЕЙ Сергей Сергеевич, аспирант кафедры «Теоретическая электротехника» ОмГУПС, г. Омск. Адрес для переписки: gorobei.florist@yandex.ru

Для цитирования

Кузнецов А. А., Горобей С. С. Снижение потребления электрической энергии на отопление пассажирских вагонов // *Омский научный вестник*. 2022. № 2 (182). С. 54–58. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-182-54-58.

Статья поступила в редакцию 11.02.2022 г.

© А. А. Кузнецов, С. С. Горобей