

Энергосберегающие системы кондиционирования и вентиляции пассажирских вагонов

А. Л. ЕМЕЛЬЯНОВ, канд. техн. наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ)

В. М. КОЗИН, канд. техн. наук, доцент, СПбГУНиПТ

В. В. ЦАРЬ, аспирант, СПбГУНиПТ



В статье описаны методы энергосбережения, используемые в современных кондиционерах на железнодорожном транспорте: применение теплового насоса, вентилярных электродвигателей, совершенствование алгоритма автоматического управления электрооборудованием и статических преобразователей питания для электродвигателей кондиционера.

Современный пассажирский вагон — весьма нагруженный агрегат в энергетическом отношении. При установленной предельной мощности подвагонного генератора 32 кВт проблема энергосбережения (или эффективного ее использования) для вагонов с автономным электроснабжением оказывается весьма актуальной. В целом та же проблема стоит и в случае поездов постоянного формирования с централизованным электроснабжением.

Большие возможности для экономии энергии в вагоне содержатся в системе кондиционирования воздуха (СКВ) и отопления. Из указанной мощности генератора на долю СКВ летом и на вентиляцию и отопление в переходный период приходится около 22 кВт. Зимой дополнительно включается электроподогрев либо система водяного отопления от котла, элементы которого питаются от централизованной системы высоковольтного электроснабжения. Основные направления и варианты реализации энергоэффективных систем кондиционирования пассажирских вагонов намечены авторами в работах [1, 2]. На основании многолетнего опыта создания и эксплуатации СКВ для подвижного состава отметим высокую эффективность следующих путей энергосбережения в пассажирских вагонах, вагонах-ресторанах и вагонах электроподвижного состава:

- использование в СКВ реверсивного режима холодильной машины — «тепловой насос»;
- применение вентиляторов с двигателями вентилярного типа с прямым питанием постоянным током от генератора либо в аварийном режиме от аккумуляторных батарей;
- покупное (индивидуальное) управление расходом и температурой приточного воздуха;
- оптимизация алгоритма автоматизированного управления СКВ;
- применение встроенных в кондиционер преобразователей постоянного тока от генератора в переменный для питания компрессора и вентиляторов, отказ от подвагонного размещения преобразователей в громоздких стальных ящиках;
- использование облегченных материалов и комплектующих, в частности, изготовление рамы кондиционера из высокопрочных алюминиевых сплавов;
- уменьшение нормативных требований по холодопроизводительности.

Рассмотрим эти направления снижения энергопотребления подробнее.

Режим теплового насоса (ТН). Для подвижного состава железных дорог начал применяться в Японии более 30 лет назад. К 1982 г. на линии Токио — Осака в эксплуатации находились 4200 вагонов, оборудованных кондиционерами с теплонасосным режимом отоп-

ления [3]. В этом режиме в холодильном контуре кондиционера используется обратный цикл, но испаритель и конденсатор меняются своими функциями вследствие изменения направления движения холодильного агента. Конденсатор становится испарителем для хладагента, забирающего тепло из окружающей среды и передающего его в испаритель. От испарителя, выполняющего роль конденсатора, полученное тепло с воздухом передается в вагон с помощью вентилятора. Эффективность ТН, определяемая отношением отданного в вагон количества тепла к затраченной работе, зависит от физических свойств хладагента, температуры окружающей среды, конструктивных особенностей холодильной машины (типа компрессора, площади теплообменников) и других факторов. Для хладона R134a в области температур наружного воздуха от -10 до $+16$ °C коэффициент преобразования принимает значения от 1,5 до 4, т. е. на каждый потребляемый от сети вагона 1 кВт мощности в вагон подается от 1,5 до 4 кВт тепла.

Применение режима ТН позволяет с высокой степенью энергоэффективности дополнительно решить следующие задачи:

- в период перехода с летнего на зимний режим функционирования СКВ вагона существует диапазон наружной температуры (от $+8$ до $+11$ °C), когда мощности существующих низковольтных калориферов недостаточно; водяной калорифер включают только после поступления приказа на включение высоковольтного отопления при устойчивой температуре наружного воздуха ниже $+8$ °C; в этот период можно обеспечивать стабильное отопление вагона кондиционером с ТН;
- при помощи ТН обеспечивается стабильное отопление вагона до темпе-

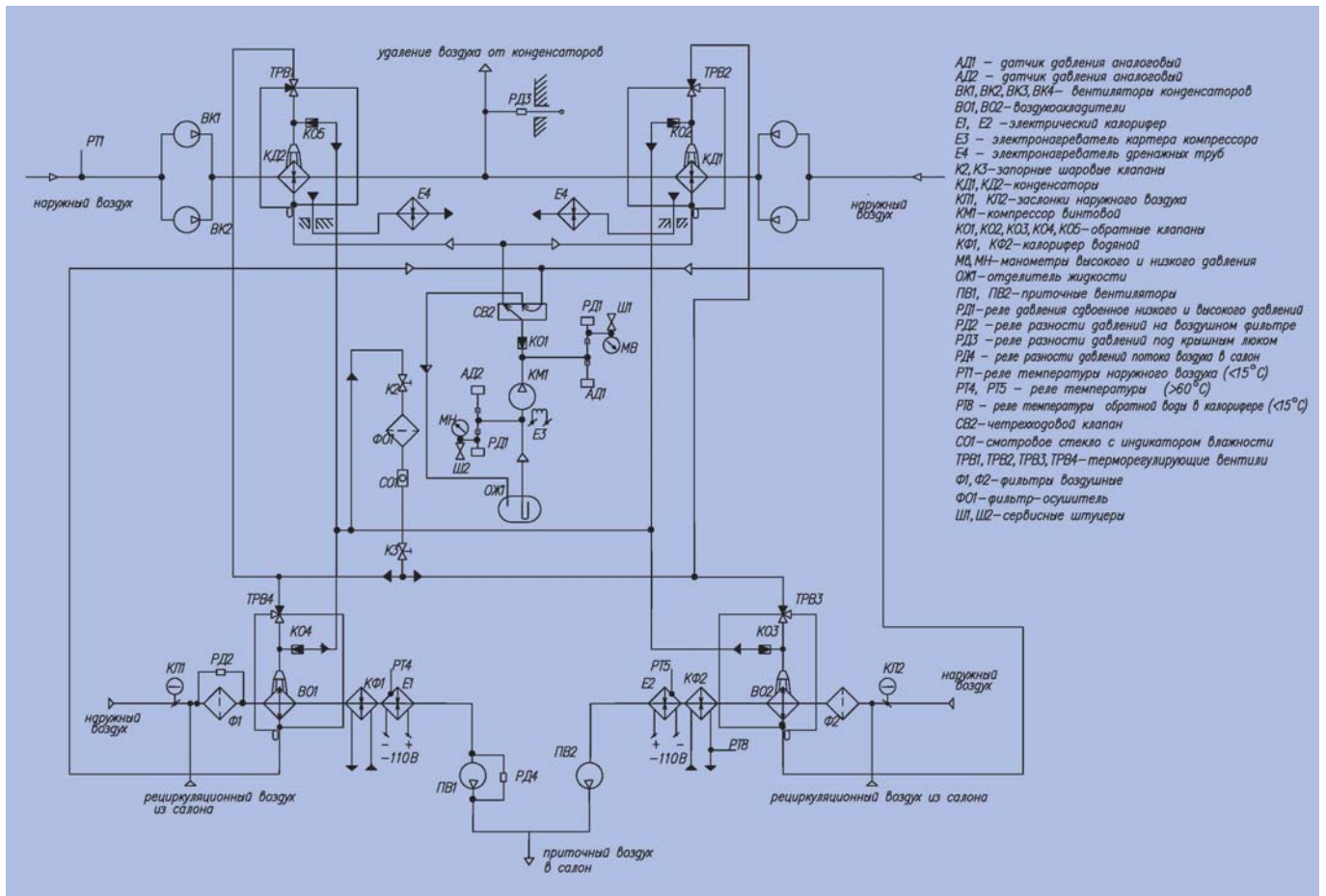


Рис. 1. Схема пневмогидравлическая кондиционера с тепловым насосом

ратуры наружного воздуха -10°C ; при этом не отмечается резкого снижения температуры воздуха в вагоне, если пропадает высокое напряжение;

- использование ТН для отопления вагона при аварии высоковольтных трубчатых электронагревателей (ТЭН) котла предпочтительнее, так как ТН, в отличие от перехода на угольное отопление котла, практически без инерции обеспечит подачу теплого воздуха в вагон.

В России первый транспортный кондиционер с теплонасосным режимом отопления УКВ ПВ(Т) был разработан фирмой «ЛАНТЕП» при участии сотрудников ВНИИЖТ и в 2002 г. был установлен на вагоне модели 61-4179Э производства ОАО ТВЗ [4]. В 2002–2010 гг. авторами данной статьи был разработан типоразмерный ряд транспортных кондиционеров с теплонасосным режимом отопления, которые используются в подвижном составе с 2003 г. За это время было изготовлено и установлено более 1600 кондиционеров, в том числе около 400 штук в пассажирских вагонах и вагонах-ресторанах новой постройки производства ЗАО «ВАГОН-МАШ» и в процессе КВР-2 на ряде вагоноремонтных заводов России, Украины и Белоруссии. На рис. 1 приведена

принципиальная пневмогидравлическая схема вагонного кондиционера с ТН, на рис. 2 — его общий вид.

Кондиционеры прекрасно себя зарекомендовали: автоматически переходили на режим отопления вагона при понижении температуры до 16°C и ниже. В результате проведенных испытаний установлено, что до температуры -8°C система отопления в вагоне может не включаться при сохранении комфортных условий для пассажиров. Средняя величина коэффициента преобразования во всем диапазоне значений температуры составляла 2,3. Экономия потребляемой энергии на отоплении — в среднем около 10 кВт на вагон в весенний и осенний переходные периоды. В пересчете на состав из 15 вагонов годовая экономия электроэнергии составляет не менее 324 000 кВт·ч. Полученные значения экономии электроэнергии согласуются с приводимыми в [4] для кондиционера УКВ ПВ(Т). Однако применение ТН в пассажирских вагонах зачастую тормозится, так как сложно поддерживать нормативный перепад температуры по высоте вагона при традиционной схеме воздухораспределения с подачей воздуха «сверху вниз». Поэтому в вагонах с системой подачи воздуха в верх-

нюю зону для снижения перепада температуры по высоте в холодный период года возможно использование жидкостного отопления с температурой теплоносителя не выше $+30^{\circ}\text{C}$. Стоимость кондиционера с тепловым насосом увеличивается незначительно, причем увеличение стоимости оправдывается в первый год эксплуатации вагона.

Использование для вентиляторов двигателей с вентиляльным приводом (с электронной коммутацией).

Вентиляторы с указанным приводом для использования в транспортных СКВ в российских условиях по нашему заданию были разработаны фирмой «EVMAPST» (Германия) [5] и в 2002–2003 гг. тщательно изучены сотрудником ВНИИЖТ, канд. техн. наук Ю. И. Калининным во всех возможных рабочих и аварийных режимах. Вентиляторы с вентиляльными двигателями сохраняют работоспособность при изменении питающего постоянного напряжения в диапазоне 85–145 В (при номинальном значении 110В).

В кондиционерах для пассажирских вагонов для обдува испарителя используются два центробежных вентилятора типа R3G 310, совместно обеспечивающие расход воздуха в вагон до $4500\text{ м}^3/\text{ч}$ по двум каналам и напор 300 Па.



Рис. 2. Общий вид кондиционера УК ПВ

Технические характеристики кондиционера УК ПВ:

Холодопроизводительность — 28,0 ± 2,0 кВт;

Теплопроизводительность:

в режиме теплового насоса — 20,0 ± 2,0 кВт;

при работе электрокалориферов — 6,0 ± 0,5 кВт;

расход обрабатываемого воздуха (в том числе наружного) — 4000 (1400) ± 500 м³/ч;

Установленная электрическая мощность, не более:

компрессора — 11,0 кВт;

вентиляторов конденсатора — 2,6 кВт;

приточных вентиляторов — 1,6 кВт;

Параметры электропитания:

входное напряжение по цепям управления — 110 В постоянного тока;

Электропитание:

компрессора 88 — 308 В; трехфазный; 20–70 Гц; $U/f = const$;

вентиляторов — 110 В постоянного тока;

ТЭН — 110 В постоянного тока;

масса не более 500 кг;

габариты 2400 × 1700 × 660 мм.

Для обдува конденсаторов используются четыре осевых вентилятора типа S3G 400 с общим расходом 10 500 м³/ч. Вентильные двигатели обладают высокой надежностью: за восемь лет эксплуатации 400 вагонов отказов кондиционеров по их вине не отмечалось.

Применение вентиляторов с вентиляционным приводом позволило:

- отказаться от двух каналов статического подвагонного преобразователя;
- снизить суммарное энергопотребление вентиляторов на 2 кВт (с 6 кВт для асинхронных до 4 кВт для вентилярных);
- обеспечить в аварийном режиме в течение 17 ч. подачу наружного воздуха в вагон по санитарным нормам с питанием вентиляторов от аккумуляторной батареи при нормальной работе других систем вагона, потребляющих электроэнергию;
- уменьшить существенно массу всей системы;
- создать в вагонах-ресторанах условия для раздельной обработки воздуха, подаваемого в салон и на кухню;

- плавно регулировать расход воздуха в вагоне и в отдельных купе;

- повысить надежность всей системы кондиционирования за счет использования двух вентиляторов для испарителя и четырех для конденсатора, а также за счет исключения двух каналов статического подвагонного преобразователя.

Использование одноканально-го преобразователя в объеме кондиционера. В кондиционерах, применяемых в серийных пассажирских вагонах, используются трехканальные статические преобразователи постоянного тока в переменный DC/AC для обеспечения питания и регулирования производительности компрессора и асинхронных двигателей вентиляторов. Преобразователи располагаются под вагоном, что заметно усложняет их диагностику и обслуживание. Авторами совместно с СП «ГАМЕМ» разработан кондиционер с размещением одноканального преобразователя в объеме кондиционера. Доступ к нему обеспечивается из тамбура вагона через специальный люк в днище кондиционера. При таком решении масса

кондиционера со встроенным преобразователем и рамой, выполненной из сплава АМГ-6, составила 550 кг, что почти на 500 кг меньше в комплекте «кондиционер-преобразователь», чем у серийных аналогов [4]. Важно также, что существенно улучшились температурные и влажностные условия работы преобразователя, повысилась его надежность, упростилось обслуживание.

Покупейное управление микроклиматом. Вносит существенный вклад не только в повышение энергоэффективности вагона, но и в температурный комфорт каждого купе. При достижении индивидуального комфорта реализуется возможность недопущения переохлаждения (перегрева) воздуха (т. е. однозначного перерасхода электроэнергии) в каждом купе. Если в некоторых купе с установленным режимом «Охлаждение» находятся пассажиры, желающие повысить температуру воздуха, то текущая холодопроизводительность кондиционера будет снижена, а значит, будет снижено и энергопотребление. При этом система управления СКВ автоматически уменьшает общий расход воздуха в вагоне, уменьшая частоту вращения приточных вентиляторов.

Системы индивидуального управления температурой воздуха в купе рассмотрены в работе [6]. Показано, в частности, что индивидуально управлять температурой воздуха в купе можно, изменяя либо его расход, либо температуру на входе. Установившийся скачок температуры воздуха в купе, возникающий в случае принудительного увеличения входной температуры $t_{вх,0}$ на величину $\Delta t_{вх}$, а расхода воздуха L_0 — на величину ΔL , определяется выражением

$$\Delta\Theta = \frac{c_p [(L_0 + \Delta L)\Delta t_{вх} - \Delta L(\Theta_0 - t_{вх,0})]}{\alpha F + c_p (L_0 + \Delta L)},$$

где L_0, Θ_0 — номинальные значения установленных расхода и комфортной температуры; c_p — изобарная объемная теплоемкость воздуха;

F — внутренняя поверхность купе;

α — коэффициент теплоотдачи для этой поверхности.

Из расчетов следует, что при уменьшении расхода воздуха в купе от 360 до 200 м³/ч в течение трех минут температура воздуха в купе изменяется на 2–4 °С [6].

Это выражение может служить ориентиром при решении обратной задачи, когда возникает необходимость считать заданным параметр $\Delta\Theta$ и через

него подбирать необходимые скачки параметров Δt_{ax} и ΔL .

Вопросы оптимизации алгоритма управления СКВ. На этапе подготовки вагона к рейсу целесообразно использовать режим интенсивного продува вагона наружным воздухом, а кондиционер включать только с началом движения [1]. При оптимизации алгоритма работы электрооборудования систем отопления, вентиляции и кондиционирования в плане энергоэффективности потребления основная задача состоит в исключении перегрева (переохлаждения) вагона во время движения, т. е. в поддержании параметров микроклимата в достаточно узком диапазоне, соответствующем требованиям санитарных правил на железнодорожном транспорте (СП 2.5.1198-03). Необходимо отметить, что до сих пор в пассажирских вагонах в системах управления кондиционированием главным образом используется только пропорциональный закон регулирования температуры воздуха в салонах и купе. Однако в последних проектах стало реализовываться плавное управление расходом воздуха и теплопроизводительностью ТЭН низковольтных калориферов. Кроме того, алгоритм работы

СКВ предусматривает автоматическое поддержание давления конденсации в кондиционере с помощью плавного регулирования частоты вращения электродвигателей для вентиляторов конденсатора. В случае такого подхода исключаются потери энергии на пусковые токи электродвигателей по сравнению с регулированием давления конденсации простым включением (выключением) и тем более не допускается перерасход энергии, если регулирование не выполняется.

Влияние конструкции вагона. В последние годы отечественные производители пассажирских вагонов добились существенного снижения эффективной тепловой проводимости вагона до 0,8–0,9 Вт/(м²·К), используя герметичные двери, двухкамерные оконные блоки и улучшая тепловую изоляцию вагона. Это достижение позволяет обеспечить нормативные санитарные требования по температуре в вагоне при уменьшении холодопроизводительности кондиционера для купейных вагонов до 15–18 кВт с соответствующим снижением энергопотребления СКВ до 10–12 кВт и массогабаритных характеристик до 350 кг. Такие кондиционеры для электроподвижного состава имеются в ак-

тиве разработчиков и могут быть предложены вагоностроителям для пассажирских вагонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов А. Л., Царь В. В. **Моноблочный кондиционер для купейных вагонов: варианты исполнения // Системы вентиляции, кондиционирования и отопления в пассажирских вагонах: Сб. докл. науч.-практ. семинара / Под ред. докт. техн. наук, проф. С. Е. Буравого. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2001. – С. 72–77.**
2. Буравой С. Е., Платунов Е. С., Царь В. В. **Тепловой режим пассажирского вагона на различных этапах эксплуатации // Там же. С. 58–71.**
3. Бартош Е. Т. **Тепловые насосы в энергетике железнодорожного транспорта. – М: Транспорт, 1985.**
4. Жариков В. А. **Климатические системы пассажирских вагонов. – М.: ТРАНСИНФО, 2006.**
5. **Каталог изделий фирмы «ЕВМАРСТ». 2009.**
6. Емельянов А. Л., Буравой С. Е., Платунов Е. С. **Системы индивидуального регулирования температуры воздуха в купе пассажирского вагона // Электрон. науч. журнал «Холодильная техника и кондиционирование» С.-Петерб. гос. ун-та низкотемпературных и пищевых технологий. – 2007. – № 1. – [№ гос. регистрации 0421000118; www.refrigeration.open-mechanics.com]**

ОФИЦИАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ТРАНСПОРТА

TRANSPORT
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Российская академия транспорта **пгупс**

О ЖУРНАЛЕ
 Главные задачи журнала - способствовать объединению всех направлений Транспортного комплекса РФ, освещать проблемы развития отечественной транспортной системы и продвигать достижения российской транспортной науки.

НОВОСТИ
 Последние статьи **SeaNews** :
 06.03 12:38 Яркие и уникальные .
 06.03 11:21 Россия вводит новые протекционистские меры .
 06.03 10:29 Туапсе принял Рапатак – первый после долгого перерыва (фото) .
 06.03 09:23 Второй «скиф» встанет на линию (фото) .
 06.03 09:09 Бундесвер поймал пиратов (фото) .
 06.03 08:21 Maersk Line примет новые суда .
 06.03 08:17 Китайские порты ушли в минус .
 05.03 17:49 Сивилитус улетел в море (фото) .

ОБ ИЗДАНИИ
 АРХИВ
 РАСПРОСТРАНЕНИЕ
 ВЫСТАВКИ
 ПОДПИСКА

В НОВОМ НОМЕРЕ

Сайт для специалистов
www.rostransport.com

ТЕМЫ НОМЕРА
 Инновационный путь развития транспортной отрасли России.

Вы можете разместить SeaNews на своей Web-странице. Подробности .

TRANSPORT
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СП 2.5.1198-03
 ТРАССЫ