

УДК 629.4.125

**ЕВОЛЮЦІЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В ПАСАЖИРСЬКИХ
ВАГОНАХ**

Канд. техн. наук А. В. Труфанова, магістрант Н. М. Шишкова

**ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В
ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНАХ**

Канд. техн. наук А. В. Труфанова, магистрант Н. Н. Шишкова

EVOLUTION OF AIR CONDITIONING SYSTEM IN PASSENGER CARS

PhD (Tech.) A. Trufanova, master N. Shyshkova

Забезпечення комфортності на залізничному транспорті неможливе без системи кондиціювання повітря. Нові стандарти різних держав встановлюють нові вимоги щодо комфортності клімату для пасажирського рухомого складу, враховуючи зростання вимог пасажирів щодо комфортності поїздок залізничним транспортом. У статті розглянуто різні системи кондиціювання повітря, встановлені на вагонах, що курсують залізницею

України, та зазначено, як удосконалення систем кондиціювання повітря пов'язане з розвитком високошвидкісного руху.

Ключові слова: поїзд, вагон, високошвидкісний рух, комфорт, система кондиціювання, холодоагент, конденсатор, випарник.

Обеспечение комфортности на железнодорожном транспорте невозможно без системы кондиционирования воздуха. Новые стандарты разных стран устанавливают новые требования по комфортности климата для пассажирского подвижного состава, учитывая рост требований пассажиров к комфортности поездок железнодорожным транспортом. В статье рассмотрены различные системы кондиционирования воздуха, установленные на вагонах, курсирующих по железной дороге Украины, и отмечено, как усовершенствование систем кондиционирования воздуха связано с развитием высокоскоростного движения.

Ключевые слова: поезд, вагон, высокоскоростное движение, комфорт, система кондиционирования, хладагент, конденсатор, испаритель.

One of the most pressing problems in ensuring the comfort of staying in passenger carriages of the railway transport is to ensure the physico-chemical cleanliness of the ambient air to ensure a comfortable stay of passengers. The most important parameters are the following:

- meteorological conditions (temperature, humidity, air velocity, pressure)
- chemical composition of air (content of gases and vapors)
- Physiological indicators (the content of microbes, microorganisms, dust).

The first group of indicators is affected by the amount of precipitation, the intensity of solar radiation, the direction and speed of the wind. Unfortunately, the listed phenomena of nature are not subject to man, although in some of them mankind already selects the keys of control, artificially changing the climate in large areas. Unlike the artificial climate, air conditioning is a process of a narrower value and characterizes the change in the state of air in a given room or enters it. In passenger cars, the use of air conditioning is caused by low heat resistance, a small room volume that accounts for one passenger, as a consequence, passengers within a short time cross climatic zones with different weather conditions. Consequently, the provision of comfort in railway transport, including in railway vehicles, is impossible without an air conditioning system. The new standards of different countries set new requirements for climate comfort and heating, ventilation and air conditioning systems for passenger rolling stock, taking into account global climate changes (increase in temperature and the level of solar radiation) and increasing passenger requirements for the comfort of travel by rail. This concerns: system security, climate control, energy consumption and efficiency, reliability, availability and the like. The article considers various air conditioning systems installed on wagons plying on Ukraine's railways, and is noted as an improvement in air conditioning systems associated with the development of high-speed traffic.

Keywords: train, car, high traffic, comfort, air conditioning system, refrigerant, installation.

Вступ. Високошвидкісний транспорт – такий тип залізничного транспорту, який пересувається значно швидше, ніж звичайний поїзд. Зазвичай високошвидкісний транспорт рухається зі швидкістю понад 200 км/год. Швидкість найсучасніших поїздів не перевищує 350 км/год, на більш високих швидкостях виникають різні

фізичні і енергетичні проблеми. Для вирішення цих проблем у ряді країн (Франції, Англії, ФРН, Італії, Японії) були розгорнуті широкі теоретичні та експериментальні дослідження і перш за все в напрямку вдосконалення ходових частин, тягового привода та забезпечення безпеки і комфорту.

Безпека – це поняття як безпеки руху, так і безпеки здоров'я, що, безумовно, пов'язане з комфортом. Отже, безпечними умовами перебування людини слід вважати такі умови, коли всі фактори навколишнього середовища (мікроклімат, температура повітря, вологість повітря, шум, вібрація, ультра- і інфрачервоний звук та ін.) знаходяться у межах допустимих рівнів, тобто відсутні ризики завдання шкоди здоров'ю людини [1].

Залізничний транспорт, щоб бути конкурентоспроможним, повинен перш за все задовольняти вимоги користувачів, тобто пасажирів. Отже, розвиток залізничного транспорту – це швидкість, безпека, комфорт [2].

В Україні впровадження швидкісних поїздів почалося на початку минулого десятиліття з появою поїзда «Столичний експрес», що поєднав Київ з Харковом, з Дніпропетровськом, а пізніше і з Львовом, у 2012 році з'явилися поїзди ІнтерСіті й ІнтерСіті+.

Натепер і в Україні робиться все можливе для розвитку швидкісного руху – удосконалюються технології виготовлення вагонів, ведуться розробки і впровадження нових систем життєзабезпечення вагонів, а саме впровадження сучасних систем кондиціювання повітря, без яких неможливе забезпечення комфортності на залізничному транспорті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз контенту світових наукових публікацій за темою «*air conditioning*» (кондиціювання повітря) на залізничному транспорті, у тому числі в залізничних транспортних засобах, дозволяє припустити, що для дослідників цікавими є питання енергоефективності, кондиціювання як елементу кліматкомфорту, зміни теплового навантаження у взаємозв'язку з навколишнім середовищем (температурою, вологістю, сонячною радіацією) тощо. Так, наприклад, в 2006 р. споживання енергії системою кондиціювання повітря становило 60-70 %

від загального споживання електроенергії в поїзді [5]. Намагаючись знизити ці показники, вчені різних країн досліджують числові аспекти взаємозв'язку «система «Клімат-контроль» – енергоефективність». Обговорення можливості зниження затрат електричної енергії, що потрібна для пасажирських систем вентиляції та кондиціювання в періоди пікових тягових потреб, подано в матеріалах конференції American Society of Mechanical Engineers (ASME, 2015) [6]. Виконане дослідження показало, що запропонована вченими стратегія відключення навантаження може бути реалізована без негативного впливу на загальногалузеві стандарти комфорту пасажирів і виключення капітальних та експлуатаційних затрат, пов'язаних із головним силовим блоком (head-end power – НЕР) поїзда.

Розробка нових і удосконалення існуючих конструкцій кондиціонерів для рейкових транспортних засобів знаходяться в центрі уваги дослідників світу. Дослідниками доведено, що нова конструкція кондиціонера може заощадити 50-60 % спожитої енергії.

Наукові статті українських вчених у цих системах представлено І. Ю. Хоменко і С. С. Богатчук. В статті І. Ю. Хоменко було розглянуто використання режиму теплового насоса для опалення плацкартних вагонів після їх модернізації зі встановленням кондиціонера, перспективи та недоліки такого проекту [7]. С. С. Богатчук розглянула соціально-економічний аспект розвитку залізничного транспорту України у другій половині XIX – на початку XX ст. [8].

Отже, численні світові дослідження протягом останніх років свідчать про постійний інтерес вчених до різних аспектів розвитку системи «Клімат-комфорт» на залізничному транспорті, у тому числі у галузі кондиціювання повітря.

Визначення мети та задачі дослідження. Більша частина пасажирських вагонів, що експлуатуються

на українських залізницях, побудована у 70-80 рр. минулого століття і термін їх служби закінчується.

Збереження чисельності пасажирського вагонного парку досягається шляхом проведення капітально-відновного ремонту старих вагонів з продовженням терміну їх служби чи закупівлею нових. Актуальним є завдання забезпечення вагонів після модернізації сучасними системами життєзабезпечення, в тому числі і системою кондиціонування повітря.

Влітку залізницями України курсують 3100 пасажирських вагонів, з яких обладнані системою кондиціонування повітря тільки 38 % – це 1168 вагонів. Майже у всіх плацкартних вагонах системи кондиціонування повітря не передбачені конструкційно [4].

У цьому році ПАТ «Укрзалізниця» оновить парк пасажирських вагонів на 203 одиниці. З них буде закуплено 50 нових вагонів і 153 одиниці – модернізовано капітально-відновлювальним ремонтом. Причому всі модернізовані і придбані вагони обладнані системами кондиціонування повітря.

Метою досліджень є розкриття особливостей та перспектив удосконалення систем кондиціонування повітря, направлених на підвищення комфорту та вирішення основних питань з розвитку швидкісного руху в Україні.

Основна частина дослідження. Важливим елементом реконструкції залізничного транспорту є вдосконалення парку пасажирських вагонів, оскільки їх комфортабельність і надійність мала і має велике соціальне значення. Однією з найбільш актуальних проблем розвитку високошвидкісного руху є підвищення швидкості з забезпеченням безпеки руху та підвищення комфорту. У зв'язку з даною проблемою були розглянуті та проаналізовані методи удосконалення конструкцій системи кондиціонування повітря сучасних вагонів як на Україні (ВАТ «Крюковський вагонобудівний завод»), так і за кордоном.

У систему кондиціонування пасажирських вагонів входять системи вентиляції, опалення, охолодження, автоматичного управління. У літній період року система вентиляції працює сумісно з системою охолодження, яка відрізняється конструктивною складністю виконання та вимагає високої надійності.

Для швидкісного руху особливе значення має ресурсозбереження, що вказує на необхідність пошуку досконалих аеродинамічних форм кузова з метою зниження опору руху, зменшення трудомісткості ремонту. Це досягається шляхом використання ретельно відпрацьованих конструкцій вузлів і технології їх виготовлення.

Отже, одним з основних напрямків розвитку швидкісного руху та сучасного вагонобудування є:

- зниження тари вагона;
- зниження енергоспоживання;
- підвищення комфорту.

Всі вищенаведені напрямки може вирішити так звана система клімат-контролю. Сучасний пасажирський вагон – дуже навантажений в енергетичному відношенні. При встановленій граничній потужності підвагонного генератора 32 кВт проблема енергозбереження (або ефективного її використання) для вагонів з автономним електрозабезпеченням виявляється актуальною. В цілому та сама проблема стоїть і для поїздів постійного формування з централізованим електрозабезпеченням. Великі можливості для економії енергії в вагоні містяться в системі кондиціонування повітря (СКП) та опалення. Із зазначеної потужності генератора на частку СКП влітку і на вентиляцію і опалення в перехідний період, споживання енергії системою кондиціонування повітря, як було зазначено вище, припадає близько 60–70 % від загального споживання електроенергії в вагоні.

На підставі багаторічного досвіду створення та експлуатації СКП для рухомого складу треба відзначити високу

ефективність таких шляхів енергозбереження в пасажирських вагонах, вагонах-ресторанах і вагонах електрорухомого складу:

- використання в СКП реверсивного режиму холодильної машини-«тепловий насос»;

- застосування вентиляторів з двигунами (минаючи підвагонні перетворювачі) живлення постійним струмом від генератора або в аварійному режимі від акумуляторних батарей;

- покупейне (індивідуальне) управління витратою і температурою;

- застосування вбудованих в кондиціонер перетворювачів постійного струму;

- відмова від підвагонного розміщення перетворювачів в громіздких сталевих ящиках;

- використання полегшених матеріалів і комплектуючих, зокрема, виготовлення рами кондиціонера з високоміцних алюмінієвих сплавів.

Розглянемо ці напрямки зниження енергоспоживання докладніше. В режимі теплового насоса (ТН) в холодильному контурі кондиціонера використовується зворотний цикл, але випарник і конденсатор змінюються своїми функціями руху холодильного агента. Конденсатор стає випарником для холодоагенту, що забирає тепло з навколишнього середовища і передає його в випарник. Від випарника, що виконує роль конденсатора, отримане тепло з повітрям передається в вагон за допомогою вентилятора. Застосування режиму ТН дозволяє з високим ступенем енергоефективності додатково в період переходу з літнього на зимовий режим в діапазоні зовнішньої температури (від +8 до +11 С) забезпечити стабільне опалення вагона кондиціонером.

Розглянемо системи кондиціонування та їх «еволюцію» на прикладі вітчизняного парку вагонів.

До 2000-х рр. на вагонах використовувалась система кондиціонування МАВ-П (купейні вагони та вагони-ресторани

побудови заводів Німеччини). Це великогабаритна та енергоємкісна система, обладнання якої складається з таких частин:

- компресорного агрегату, розташованого під вагоном;

- конденсаторного агрегату, розташованого під вагоном;

- ящика управління кондиціонером, розташованого під вагоном;

- вентиляційного агрегату, розташованого в міжстелевому просторі;

- системи трубопроводів, які з'єднують обладнання, розташоване під вагоном і вентиляційним агрегатом.

Ця система має такі недоліки:

- великі маса і габарити;

- значна витрата електроенергії;

- недостатня надійність і довговічність;

- труднощі забезпечення повної герметизації системи (це пов'язано з тим, що одна частина апаратів розташована під рамою вагона, інша в стельовому просторі, що вимагає великої кількості трубопроводів для з'єднання цих частин).

Першу спробу вирішення питання зменшення ваги та шумових характеристик зроблено науковим об'єднанням МК «Енергозбереження» м. Харків. Була проведена робота з модернізації системи кондиціонування повітря МАВ-П пасажирських вагонів з використанням спірального компресора 1СГГ-30 і статичного перетворювача РПЛ-24-1. Так з'явився комплект РК-13-У1, що практично привело до зменшення шумів і зменшило масу системи кондиціонування приблизно на 300 кг.

Для підвищення комфортності пасажирських вагонів велась цілеспрямована робота ряду фірм зі створення сучасної моделі кондиціонерів. Так з'явився автономний кондиціонер, особливістю якого є те, що це єдиний агрегат, окремі частини якого з'єднані за допомогою зварювання, а такий недолік, як фланцеві та нарізні з'єднання, ліквідовано.

Агрегат зручний в обслуговуванні, легко монтується на вагоні і при

необхідності може бути швидко замінений іншим не тільки на пунктах обороту поїзда, але і під час його стоянок. Автономні кондиціонери з'явилися на транспорті близько двадцяти років тому.

Перший транспортний кондиціонер з теплонасосним режимом опалення УКВ ПВ (Т) був розроблений фірмою «ЛАНТЕП» в 2002 р. [3, 9]. У 2002-2010 рр. такі кондиціонери встановлено в пасажирських вагонах і вагонах-ресторанах нової конструкції виробництва ЗАТ «Вагонмаш» та ВАТ КВБЗ і в процесі капітально-відновлювального ремонту (КВР) на ряді вагоноремонтних заводів України.

Системи кондиціювання, такі як УКВ-31 (Росія); КЖ 2-4,5/2,5 (Росія); АВК-30 (Україна), дозволили знизити шум до мінімуму, енергоспоживання (до 17 кВт) та масу (до 1200 кг), але в таких кондиціонерах використовуються три каналні статичні перетворювачі постійного струму в змінний ДС/АС для забезпечення живлення та регулювання продуктивності компресора і асинхронних двигунів вентиляторів. Перетворювачі розташовані під вагоном та мають вагу до 400 кг, що помітно ускладнює їх діагностику і обслуговування.

Наступним етапом у розвитку систем кондиціювання було розроблення кондиціонера з розміщенням одноканального перетворювача в моноблоці кондиціонера. Доступ до нього забезпечується з тамбура вагона через спеціальний люк в днищі кондиціонера. При такому рішенні маса кондиціонера з вбудованим перетворювачем і рамою, виконаною зі сплаву АМгб, склала 550 кг, що майже на 500 кг менше в комплекті «кондиціонер перетворювач», ніж у серійних аналогів. Важливо також, що істотно покращилися температурні і вологісні умови роботи перетворювача, підвищилася його надійність, спростилося обслуговування. За рахунок перенесення перетворювача всередину кондиціонера зменшилася трудомісткість установа вибору на вагон.

До таких кондиціонерів відносяться кондиціонери вітчизняного виробництва, як

АВК-25 виробництва заводу «Екватор», ВКМ-Х виробництва ТОВ «ТД «Сдандарт плюс» м. Гостомель та КВ-1-Х виробництва МК «Енергозбереження». Ці системи встановлюються на купейних вагонах після проведення модернізації при виконанні капітально – відновлювального ремонту (КВР), маса цих кондиціонерів становить 500 та 700 кг.

Кондиціонери АВК-25 та ВКМ-Х відрізняються від інших тим, що мають обладнання для проведення діагностики безпосередньо на вагоні, що дозволяє виявити причини виходу з ладу і усунути несправність за короткий час.

У кондиціонера КВ-1-Х є вбудований пульт керування, доступний з люка обслуговування в тамбурі вагона, що дозволяє проводити діагностику обладнання кондиціонера, а у разі втрати зв'язку з пультом керування вагона або виходу останнього з ладу, керувати роботою кондиціонера.

На даному етапі ведуться роботи зі встановлення системи діагностики на пульт керування вагоном. На спеціальному табло, виведеному на пульт керування вагоном, буде виводитися інформація не тільки про аварію, а і конкретні дані про причину і місце аварії, що дозволить швидко локалізувати несправність і відновити роботу кондиціонера.

На створеному міжрегіональному швидкісному двосистемному електропоїзді ЕКр1 «Тарпан» (ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод») використовується удосконалена, більш сучасна система кондиціювання повітря АВК-10 (АВК-6), сумарна потужність електродвигуна складає 6,2 (4,1) кВт, вага – 300 (200 кг).

В останні роки вітчизняні виробники пасажирських вагонів домоглися істотного зниження ефективної теплової провідності вагона до 0,8-0,9 Вт/Вт/(м²·К), використовуючи герметичні двері, двокамерні віконні блоки і покращуючи теплову ізоляцію вагона. Це досягнення дозволяє забезпечити нормативні санітарні вимоги до температури в вагоні при зменшенні

холодопродуктивності кондиціонера для купейних вагонів до 15-18 кВт з відповідним зниженням енергоспоживання до 10-12 кВт і масогабаритних характеристик до 350 кг. Такі кондиціонери для електро рухомого складу є в активі розробників і можуть бути запропоновані вагонобудівникам для пасажирських вагонів.

Досить доцільно змінювати температуру повітря за бажанням пасажирів окремо в кожному купе.

Покупейне управління мікрокліматом на даний час дуже актуальне, бо робить істотний внесок не тільки в підвищення енергоефективності вагона, а й в температурний комфорт кожного купе. При досягненні індивідуального комфорту реалізується можливість недопущення переохолодження (перегріву) повітря (іншими словами, однозначної перевитрати електроенергії) в кожному купе. Якщо в деяких купе з встановленим режимом «Охолодження» треба підвищити температуру повітря, то поточна холодопродуктивність кондиціонера буде знижена, а значить, буде знижено і енергоспоживання. При цьому система керування автоматично зменшує загальні витрати повітря в вагоні, зменшуючи частоту обертання припливних

вентиляторів. Зокрема, індивідуально управляти температурою повітря в купе можна, змінюючи або його витрати, або температуру на вході [10].

Висновки. Проведений аналіз удосконалення систем кондиціонування повітря показує, що система кондиціонування із громіздкої перетворилася на компактну з меншою вагою, що має вагоме значення при проведенні технічного обслуговування та планових видах ремонту. Також зменшилося енергоспоживання. Сучасні системи мають шумоізоляцію, кондиціонер складається з двох блоків (блок холодильної машини і блок обробки повітря). Блоки обшиті металевими листами з наклеєними на них з внутрішньої сторони звуко- і теплоізоляцією. Нижнє днище кондиціонера двостінне, простір між стінами також заповнено звуко- і теплоізоляційним матеріалом. Необхідно також відзначити те, що сучасні системи кондиціонування заправляються холодоагентами у кількості від 2 до 5 кг, тоді як перші системи заправлялися холодоагентом до 40 кг.

Удосконалення систем кондиціонування повітря, направлене на підвищення комфорту, допомагає вирішити основні питання розвитку швидкісного руху та сучасного вагонобудування в Україні.

Список використаних джерел

1. Лексин, А. Г. К вопросу об оптимизации и нормировании микроклимата в вагонах и на станциях метрополитена [Текст] / А. Г. Лексин, Н. А. Матушкина, Ю. Г. Лаврикова // Гигиена и санитария. – 2014. – № 4. – С. 52.
2. Espinosa-Aranda, J. High-speed railway scheduling based on user preferences [Text] / J. Espinosa-Aranda [et. al.] // European Journal of Operational Research. – 2015, November. – Vol. 246. – P. 770-780.
3. Емельянов, А. Л. Моноблочный кондиционер для купейных вагонов: варианты исполнения [Текст] / А. Л. Емельянов, В. В. Царь // 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.
4. Звіт пасажирської компанії [Електронний ресурс]: [Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України]. – Режим доступу: <https://economics.unian.ua/transport> (дата звернення 14.08.2018).
5. Liu, P. Issues & factors of train air-conditioning system design & Operation [Електронний ресурс]: [HVAC Technologies for Energy Efficiency]. – Режим доступу: <http://oaktrust.library.tamu.edu/handle> (дата звернення 14.08.2018).

6. Feasibility of Load-Shedding to Improve Efficiency and Reduce Energy [Text] / M. Shrland, D. Andersen [et. al.] // Materials Joint Railway Conference, March 23-26, San Jose. – California, USA: 2015. – P. 7–22.

7. Хоменко, І. Ю. Використання режиму теплового насоса для опалення плацкартних вагонів після їх модернізації зі встановленням кондиціонера [Текст] / І. Ю. Хоменко // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2013. – № 2. – С. 121-124.

8. Богатчук, С. С. Залізничний транспорт в Україні [Текст] / С. С. Богатчук // Наука и человек. – 1999. – № 8. – С. 11-12.

9. Бартош, Е. Т. Тепловые насосы в энергетике железнодорожного транспорта [Текст] / Е. Т. Бартош. – М. : Транспорт, 1985. – 280 с.

10. Системы индивидуального регулирования температуры воздуха в купе пассажирского вагона [Текст] / А. Л. Емельянов, С. Е. Буравой, Е. С. Платунов // Холодильная техника и кондиционирование. – 2007. – № 1. – С. 111-115.

Труфанова Альона Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35. E-mail: alena.hiit@rambler.ru.

Шишкова Наталія Миколаївна, магістрант групи МЗ-17-ТЕМПУС-В кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (096) 6042994. E-mail.: n-sh1992@ukr.net.

Труфанова Алена Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры вагонов Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail.: alena.hiit@rambler.ru.

Шишкова Наталия Николаевна, магистрант группы МЗ-17-ТЕМПУС-В, кафедра вагонов Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (096) 6042994. E-mail.: n-sh1992@ukr.net.

Trufanova Alyona Volodymyrivna, PhD (Tech.), associate professor, Department of Wagons, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-35. E-mail: alena.hiit@rambler.ru.

Shyshkova Nataliya Mykolaivna, master group MZ-17-TEMPUS-B, Department of Wagons, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel: (096)604-29-94. E-mail: n-sh1992@ukr.net.

Статтю прийнято 26.10.2018 р.