

Анатичук Л.І., *акад. НАН України*^{1,2}
Прибила А.В. *канд. фіз.-мат. наук*^{1,2}
Кібак А.М.¹

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;
e-mail: anatyuch@gmail.com;

²Чернівецький національний університет
ім. Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,
Чернівці, 58000, Україна

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ КОНДИЦІОНЕРИ ДЛЯ СИДІНЬ АВТОТРАНСПОРТУ

У роботі розглядаються перспективи використання термоелектричного кондиціонування сидінь автотранспорту, якими може бути здійснена економія енергетичних ресурсів та покращення температурних умов перебування людини у транспортному засобі. Для визначення найбільш раціональних варіантів використання даних кондиціонерів здійснено їх класифікацію в залежності від способу термоелектричного кондиціонування. Бібл. 30, рис. 4.

Ключові слова: термоелектричний кондиціонер, термоелектричний тепловий насос, кондиціонування, теплові умови.

Вступ

Загальна характеристика проблеми. В останні десятиліття кількість транспортних засобів стрімко зростає. За даними аналітичної компанії Navigant Research на сьогодні їх чисельність перевищила 1.2 млрд. одиниць, а до кінця 2035 року показник може досягнути 2 млрд [1]. При цьому через інтенсивність руху транспорту люди проводять в ньому все більшу частину свого часу. З цієї причини виникає необхідність у забезпеченні оптимального теплового комфорту людини при перебуванні у транспортному засобі, а отже і потреба у створенні кондиціонерів.

У роботах [2 – 8] розглядаються різні методи кондиціонування повітря у транспортних засобах, кожний із яких має свої переваги та недоліки. Так у роботі [8] було наведено порівняння використання компресійних та термоелектричних кондиціонерів та показано переваги кожного в залежності від кліматичних умов. Незважаючи на різні методи кондиціонування, спільним є те, що кондиціонування відбувається для всього об'єму транспорту. Це призводить до збільшення затрат електроенергії та виникнення проблеми пов'язаної із розподілом повітряного потоку, оскільки водії чи пасажери відчують комфорт для тих частин тіла, які безпосередньо звернені до випускного отвору кондиціонера. При цьому звичайні сидіння будуть виконувати функцію

ізолятора, зменшуючи охолодження тіла, запобігаючи випаровуванню поту та підвищуючи температуру шкіри при контакті з поверхнею сидіння [9].

Для вирішення вказаних проблем доцільно використовувати локальне кондиціонування, а саме кондиціонування сидіння автотранспорту. Такий варіант дозволить забезпечувати комфортні умови при менших затратах електроенергії та вирішити проблему пов'язаної із розподілом повітряного потоку.

У літературі наведені різні варіанти кондиціонування сидінь транспортних засобів [10 – 15], серед яких широкого використання набуло кондиціонування із використанням термоелектричних перетворювачів. Це пов'язано із наявністю у таких перетворювачів низки переваг, а саме: висока надійність, можливість забезпечення і охолодження і нагріву, відсутність шкідливих холодоагентів, низька вартість технічного обслуговування, можливість регулювання температури у широкому діапазоні [16]. При цьому особливий інтерес викликає можливість застосування термоелектричного кондиціонування операторів бронемашин, зокрема танків, що дозволить оптимізувати теплові умови перебування танкістів під час виконання бойових дій.

Зважаючи на викладене, є важливим розглянути відомі методи здійснення термоелектричного кондиціонування сидінь транспорту для подальшого виокремлення найбільш раціональних варіантів. Останнє зводиться до вивчення та аналізу відомих варіантів термоелектричних кондиціонерів для сидінь транспорту та їх класифікація за тепловою схемою.

Аналіз літератури. Роботи на створення термоелектричних кондиціонерів для сидінь автотранспорту вже активно проводяться у багатьох країнах світу. Так у [17] було розроблено сидіння із контрольованою температурою, що працює від вихлопної термоелектричної системи рекуперації тепла. Проведено серію експериментів, включаючи стендові та реальні випробування транспортного засобу, які показали, що термоелектрична система змогла знизити температуру поверхні сидіння на 14.59 %, після того, як сидіння з контрольованою температурою працювало протягом 10 хв.

У роботі [18] створена термоелектрична системи, яка використовувалася для кліматичного контролю сидінь автомобіля. Експериментальні результати показали, що система знижує температуру повітря, що перекачується до сидіння, приблизно на 9 °С при коефіцієнті продуктивності приблизно $\epsilon=0,41$, тоді як результати режиму нагріву показали, що пристрій може підвищити температуру повітря приблизно на 34 °С при $\epsilon=1,34$.

У [19] змодельований та сконструйований термоелектричний пристрій для регулювання температури поверхні автомобільного сидіння. Результати випробувань показали, що при напрузі 12 В термоелектрична система дозволяє знизити температуру сидіння приблизно на 18 °С в режимі охолодження та підвищити її на 22 °С в режимі нагріву.

У [20] розроблено автоматизовану систему охолодження сидінь для автомобілів із застосуванням термоелектричного пристрою, яка спрямована на запобігання загибелі та травматизму маленьких дітей, залишених без нагляду у припаркованих автомобілях, при високій температурі

навколишнього середовища. Експериментальна серія випробувань показала високу ефективність системи.

У [21] розроблено та випробувано сидіння із змінною температурою із використанням термоелектричного охолоджувача для підвищення теплового комфорту та зниження витрат палива. Експериментальні результати показали, що при температурі навколишнього середовища 27 °С така система може видаляти приблизно 33,3 Вт потужності з кондиціонованого повітря, що перекачується на сидіння.

У роботі [22] застосували оптимальний метод проектування для розробки термоелектричного кондиціонування повітря-рідина і змогли отримати коефіцієнт продуктивності 1,68 при однаковій вхідній потужності. Цей оптимальний метод проектування використовував розмірний аналіз для оптимізації поданого струму та геометричного співвідношення термоелемента (або кількості пар термоелементів) одночасно для заданого набору фіксованих параметрів.

У [23] розроблена та протестована термоелектрична система регулювання температури автомобільного сидіння для забезпечення швидкого охолодження та нагріву. Експериментальні випробування показали, що термоелектрична система дає перевагу у прискоренні охолодження автомобільного сидіння від 50 °С до приблизно 6 °С із значним часом відгуку.

Всі перераховані термоелектричні варіанти кондиціонування сидінь транспорту мають свої переваги та недоліки. Враховуючи те, що потреба у подальших дослідженнях пов'язаних із використанням термоелектричного кондиціонування буде тільки зростати, виникає необхідність у класифікації та систематизації відомих варіантів такого кондиціонування із наступним визначенням більш раціональних.

Мета пропонованої роботи - аналіз відомих варіантів термоелектричних кондиціонерів для сидінь автотранспорту та визначення їх найбільш раціональних варіантів.

Компанії, що займаються виготовленням серійних зразків кондиціонерів для сидінь автотранспорту

Одним із лідерів у сфері термоелектричного кондиціонування сидінь транспорту є американська компанія *Gentherm Incorporated*, у минулому *Amerigon* [24]. Компанія створила першу у світі систему сидінь із термоелектричним нагрівом та охолодженням для автомобільної промисловості. Розроблена система отримала назву «Клімат-контроль для сидіння» і була вперше прийнята у *Ford Motor Company* у якості опції модельного *Lincoln Navigator 2000*. Сьогодні ця система доступна у більше як 50 автомобілях, таких як *Ford*, *General Motors*, *Toyota* (*Lexus*), *Kia*, *Hyundai*, *Nissan* (*Infinity*), *Range Rover*, *Jaguar Land Rover* та ін.

В одній із запатентованих технологій компанії система клімат контролю включає термоелектричний прилад, основа якого металічна пластина, яка нагрівається із однієї сторони і охолоджується із іншої [14]. Здійснення теплообміну між теплом, що генерується або поглинається елементом Пельтьє і повітрям, що передається від вентилятора, відбувається

завдяки теплообмінникам. Корпус, в якому розміщені елементи Пельтьє і теплообмінник, включає в себе спеціальні частини, які з'єднанні із трубкою для подачі повітря від вентилятора в регулятор температури сидіння та для з'єднання із випускною трубою.

На сьогодні *Gentherm Incorporated* є провідною компанією у світі не тільки по термоелектричному охолодженню та нагріву сидіння автомобілів, а і однією із найкращих серед своїх конкурентів, які використовують інші шляхи кондиціонування. Компанія співпрацює із майже всіма відомими автомобільними виробниками, тому, в залежності від необхідності, має різноманітні варіанти своєї продукції. В даний час компанія володіє багатьма патентами на термоелектричне охолодження/нагрів сидіння автомобілів.

Індійська компанія *Dhama Innovations* розробила систему термоелектричного контролю температури для сидінь автомобілів [25]. Продукт отримав назву *Dhama Comfort* і представляє собою сидіння із регулюванням температури, яке підключається до батареї автомобіля. Користувач може регулювати рівень температури у будь-якому режимі. Робота *Dhama Comfort* заснована на технології *Climacon*, що представляє собою невеликі блоки, які складаються із термоелектричного модуля та спеціально розроблених радіаторів. Такі блоки розміщують у сидінні, що дозволяє забезпечити тепловий комфорт у будь-якому місці. На сьогодні сидіння компанії *Dhama Innovations* встановлено у багатьох легкових та вантажних автомобілів. Дослідження показали, що при застосуванні таких сидінь не тільки створюються оптимальні температурні умови, а також водії відчують меншу втоми, що дозволяє їм довше керувати транспортом.

Широкого використання набуло використання спеціальних чохлів (подушок) на сидіння автомобілів. Така продукція не потребує значних затрат і підходить до будь-яких типів автомобільних сидінь. Найбільшим попитом серед подушок користується продукція пекінської компанії *Huimao Cooling Equipment Co., Ltd* [26]. Компанія працює на світовому ринку із 1996 року і спеціалізується на дослідженнях, розробці та виготовленні термоелектричних модулів охолодження та комплектуючих деталей.

Американська компанія *Arizon Line-X* також розробляє подушки для сидіння водіїв [27]. Їх розробки дозволяють знизити споживання палива. За підрахунками компаній така економія, у майбутньому, зможе навіть відшкодувати затрати на придбання подушки для сидіння. У комплекті також є адаптер для розетки змінного струму, щоб його можна було використовувати в офісі або вдома.

Ще одна американська компанія *Tempronics* була заснована із винаходом **Climate Ribbon** [28]. Спочатку вона сфокусувалася на розробці та патентуванні технології, а далі перейшла на ринок. Головний продукт - персональна кліматична система *Tempronics, PCS 200*. Це термоелектрична технологія, що дозволяє підтримувати комфортну температуру у вигляді персонального чохла для охолодження чи нагріву, який використовується в автомобілях.

Класифікація термоелектричних кондиціонерів для сидінь автотранспорту

У пропонованій роботі класифікація термоелектричних кондиціонерів для сидінь автотранспорту здійснюється за двома головними ознаками: спосіб охолодження чи нагріву (повітряний або рідинний) та спосіб відведення небажаного відпрацьованого тепла (в кабінку автомобіля чи поза транспортним засобом).

Схема А. Перший варіант класифікації зображений на рис. 1. Розглядається термоелектричне кондиціювання сидіння із використанням повітряного охолодження при відведенні небажаного відпрацьованого тепла у кабінку автомобіля.

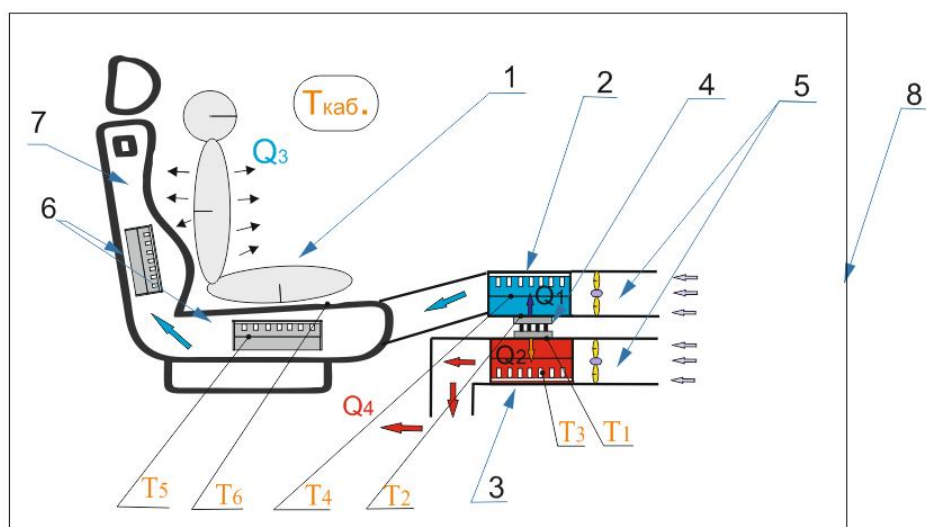


Рис. 1. Варіант термоелектричного кондиціювання сидіння із використанням повітряного охолодження при відведенні тепла у кабінку автомобіля: 1 – схематичне зображення пасажирів, 2 – радіатор холодного контуру, 3 – радіатор гарячого контуру, 4 – термоелектричні модулі, 5 – повітряні вентилятори, 6 – повітряні радіатори, 7 – схематичне зображення транспортного сидіння, 8 – схематичне зображення кабіни автомобіля.

$T_{каб}$ – температура всередині кабіни, T_1 – температура гарячої сторони модуля, T_2 – температура холодної сторони Т/І модуля, T_3 – температура на гарячому радіаторі, T_4 – температура на холодному радіаторі, T_5 – температура на повітряних радіаторах, T_6 – температура на поверхні сидіння, Q_1 – тепловий потік з холодної сторони т/І модуля, Q_2 – тепловий потік із гарячої сторони Т/І модуля, Q_3 – тепловий потік із тіла пасажирів, Q_4 – тепловий потік виділяється у кабінку.

Схема А працює у режимі охолодження. Для переходу у режим нагріву потрібно лише змінити напрямок подання електричного струму на термоелектричні модулі. У даному режимі вентилятори 5 нагнітають повітря через радіатори 2 та 3, які розсіюють холодний та гарячий

тепловий потік із термоелектричних модулів 4. Охолоджене повітря проходить через систему повітропроводів до сидіння 7, де через радіатори 6 виходить через поверхню сидіння охолоджуючи при цьому пасажирів. Нагріте повітря відводиться через спеціальну систему каналів безпосередньо у кабіну. При цьому температура всередині кабіни не буде суттєво змінюватися, а ефект охолодження чи нагріву буде мати місце лише для людей, які знаходяться на сидінні.

У роботах [13 – 15] використано описаний метод здійснення кондиціонування сидінь, але із певними варіаціями самої конструкції термоелектричної системи. Так, наприклад, у [11] описано схему, яка складається із теплового насоса заднього сидіння, який регулює температуру повітря, що проходить через спинку сидіння, та теплового насоса нижнього місця сидіння для кондиціонування повітря, що проходить через нижню частину сидіння. Ці два насоси містять термоелектричний пристрій, основний теплообмінник та теплообмінники для відпрацьованого тепла. До одного кінця кожного основного теплообмінника приєднаний вихід з головного вентилятора, який служить для передачі кондиціонованого повітря до спинки чи нижньої частини сидіння. Випускний кінець кожного головного теплообмінника з'єднаний з повітропроводом, який, у свою чергу, з'єднаний з відповідним входом повітря на заднє сидіння або входом повітря в нижній частині сидіння. До одного кінця кожного теплообмінника для відпрацьованого тепла прикріплений вихід від вентилятора, який служить для передачі небажаного відпрацьованого тепла у зовнішнє середовище. До сторони основного теплообмінника у кожному тепловому насосі прикріплені температурні датчики. Кожен температурний датчик може містити електричну термопару.

Схема Б. Другий варіант класифікації зображений на рис. 2. Розглядається термоелектричне кондиціонування сидіння із використанням повітряного охолодження при відведенні небажаного відпрацьованого тепла у навколишнє середовище поза транспортним засобом.

Принцип роботи схеми Б аналогічний до схеми А і відрізняється лише тим, що небажане відпрацьоване тепло відводиться не у середину, а поза кабіну автомобіля. Також на вхідній стороні повітропроводу для небажаного тепла є можливість розміщення входу для подачі повітря поза транспортним засобом. Перевагою такого способу є те, що температура всередині транспорту може змінюватися, оскільки небажане тепло буде викидатися у навколишнє середовище. Незважаючи на це, серед розглянутої літератури зовсім невелика частина робіт використовує дану схему кондиціонування. В основному це пов'язано із складністю реалізації додаткових отворів.

У роботі [29] описано термоелектричний кондиціонер для сидіння транспортного засобу із використанням схеми Б. Одна з основних частин такого кондиціонера включає в себе електричний вентилятор та термоелектричний блок. Передбачено повітропровід та вентилятор. На вхідній стороні повітропроводу наявні входи для подачі повітря поза транспортним засобом і внутрішні впускні отвори для подачі повітря всередині транспортного засобу. Співвідношення

змішування зовнішнього і внутрішнього повітря перемикається відповідними демпферами. Описаний кондиціонер керується блоком управління, на який подаються сигнали від датчиків температури. В одному із аспектів застосування винаходу передбачений відвід небажаного відпрацьованого тепла поза транспортним засобом.

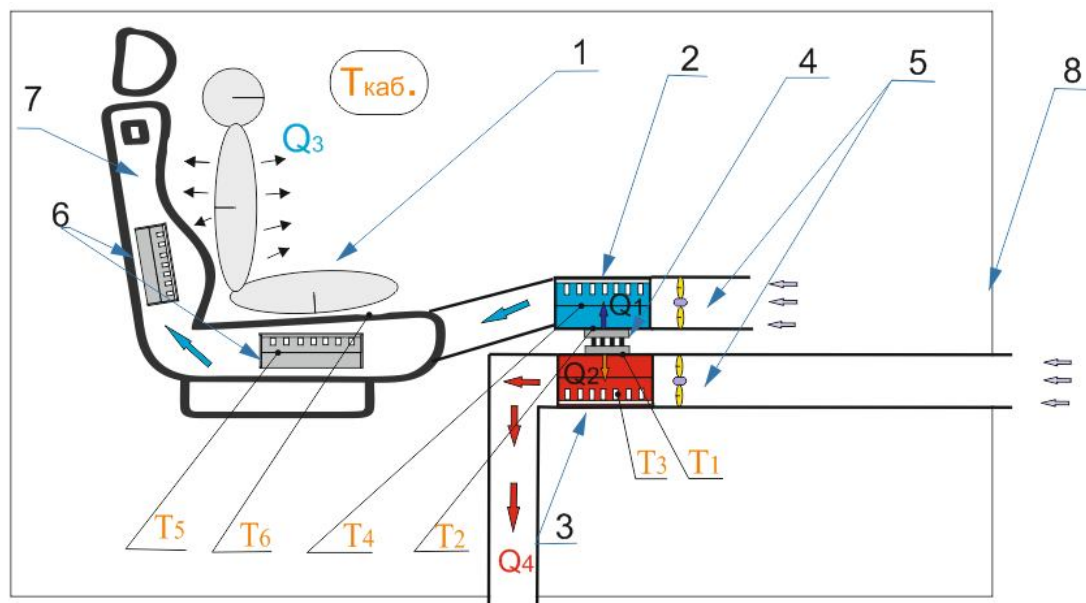


Рис. 2. Варіант термоелектричного кондиціонування сидіння із використанням повітряного охолодження при відведенні тепла у навколишнє середовище поза транспортним засобом: 1 – схематичне зображення пасажирів, 2 – радіатор холодного контуру, 3 – радіатор гарячого контуру, 4 – термоелектричні модулі, 5 – повітряні вентилятори, 6 – повітряні радіатори, 7 – схематичне зображення транспортного сидіння, 8 – схематичне зображення кабіни автомобіля. $T_{каб}$ – температура всередині кабіни, T_1 – температура гарячої сторони модуля, T_2 – температура холодної сторони T/l модуля, T_3 – температура на гарячому радіаторі, T_4 – температура на холодному радіаторі, T_5 – температура на повітряних радіаторах, T_6 – температура на поверхні сидіння, Q_1 – тепловий потік з холодної сторони т/l модуля, Q_2 – тепловий потік із гарячої сторони T/l модуля, Q_3 – тепловий потік із тіла пасажирів, Q_4 – тепловий потік виділяється поза кабіну.

Схема В. Наступний варіант класифікації зображений на рис. 3. Розглядається термоелектричне кондиціонування сидіння із використанням рідинного охолодження при відведенні небажаного відпрацьованого тепла у кабінний простір автомобіля.

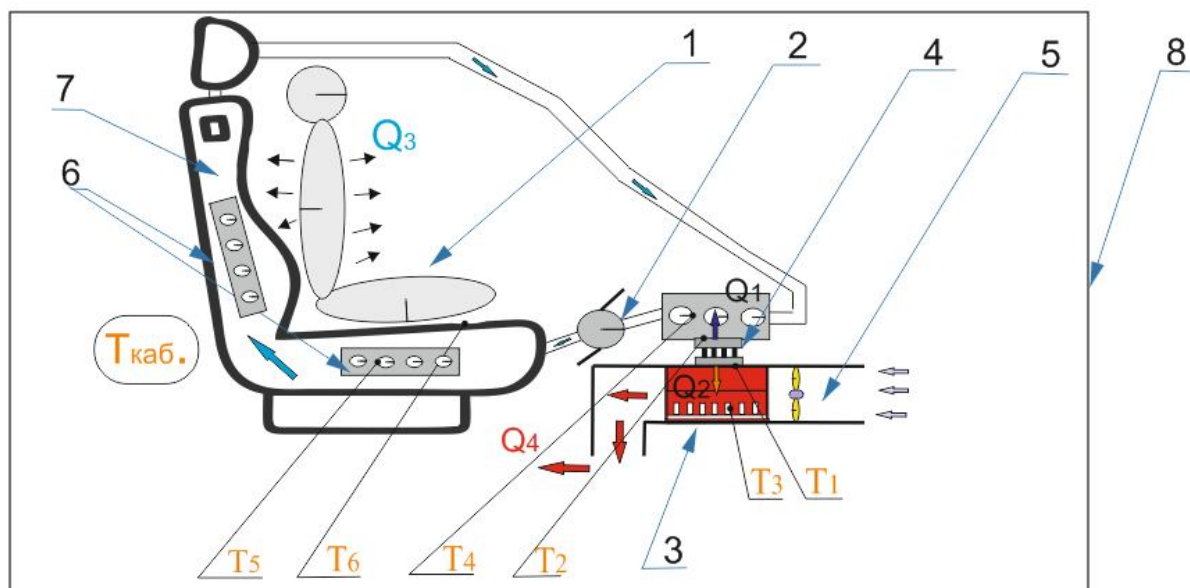


Рис. 3. Варіант термоелектричного кондиціонування сидіння із використанням рідинного охолодження при відведенні тепла у кабінку автомобіля: 1 – схематичне зображення пасажирів, 2 – рідинний насос, 3 – радіатор гарячого контуру, 4 – термоелектричні модулі, 5 – повітряний вентилятор, 6 – елементи системи охолодження, 7 – схематичне зображення транспортного сидіння. 8 – схематичне зображення кабінки автомобіля. $T_{каб}$ – температура всередині кабінки, T_1 – температура гарячої сторони модуля, T_2 – температура холодної сторони Т/І модуля, T_3 – температура на гарячому радіаторі, T_4 – температура на холодному радіаторі, T_5 – температура на повітряних радіаторах, T_6 – температура на поверхні сидіння, Q_1 – тепловий потік з холодної сторони т/І модуля, Q_2 – тепловий потік із гарячої сторони Т/І модуля, Q_3 – тепловий потік із тіла пасажирів, Q_4 – тепловий потік відводиться у кабінку.

Різниця принципу дії такого кондиціонування, від розглянутих раніше, полягає у наявності рідинної системи охолодження. Термоелектричні модулі охолоджують (чи нагрівають) рідину, яка за допомогою рідинного насоса циркулює по замкненій системі. Охолоджена (або нагріта) рідина проходить через сидіння створюючи необхідні температурні умови для водіїв чи пасажирів. Небажане тепло відводиться у кабінку автомобіля.

У [30] описано спеціальну систему обігріву та охолодження для сидіння, яка працює подібним чином. Система складається із термоелектричного пристрою, який вибірково охолоджує чи нагріває теплообмінник, наповнений рідиною. Рідина всмоктується насосом через котушку на сидінні. Котушка передає тепло, проводячи його через сидіння до пасажирів.

Контролер дозволяє вибрати температуру нагріву чи охолодження. Вимикач визначає полярність напруги, поданої на термоелектричний прилад.

Схема Г. Останній варіант класифікації зображений на рис. 4. Розглядається термоелектричне кондиціювання сидіння із використанням рідинного охолодження при відведенні небажаного відпрацьованого тепла у навколишнє середовище поза транспортним засобом.

Принцип роботи схеми Г аналогічний до схеми В і відрізняється лише тим, що небажане відпрацьоване тепло відводиться поза кабіну автомобіля. Також на вхідній стороні повітропроводу для небажаного тепла є можливість розміщення входу для всмоктування повітря поза транспортним засобом. Такий варіант кондиціювання майже не розглядається у науковій літературі, незважаючи на те, що він є найбільш ефективним при кондиціюванні. В основному це пов'язано із складністю у процесі реалізації.

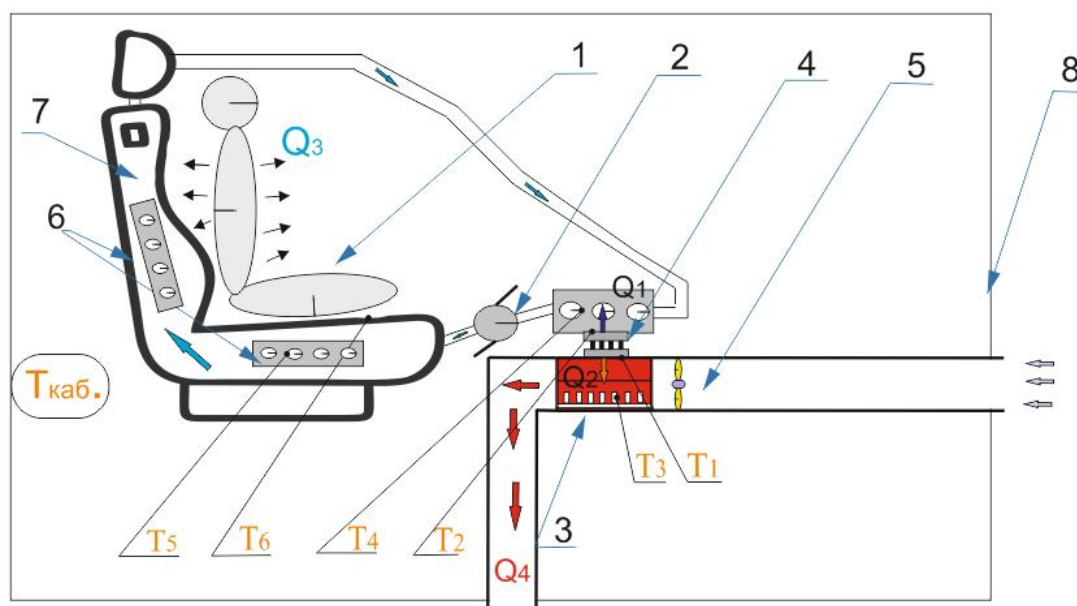


Рис.4. Варіант термоелектричного кондиціювання сидіння із використанням рідинного охолодження при відведенні тепла у навколишнє середовище поза транспортним засобом: 1 – схематичне зображення пасажирів, 2 – рідинний насос, 3 – радіатор гарячого контуру, 4 – термоелектричні модулі, 5 – повітряний вентилятор, 6 – елементи системи охолодження, 7 – схематичне зображення транспортного сидіння. 8 – схематичне зображення кабіни автомобіля. $T_{каб}$ – температура всередині кабіни, T_1 – температура гарячої сторони модуля, T_2 – температура холодної сторони т/л модуля, T_3 – температура на гарячому радіаторі, T_4 – температура на холодному радіаторі, T_5 – температура на повітряних радіаторах, T_6 – температура на поверхні сидіння, Q_1 – тепловий потік з холодної сторони т/л модуля,

Q_2 – теплової потік із арычої сторони Т/І модуля, Q_3 – тепловий потік із тіла пасажира

Q_4 – тепловий потік виділяється поза кабіну.

Аналіз найбільш раціональних варіантів термоелектричних кондиціонерів для сидінь автотранспорту

Із аналізу літератури та класифікації схем термоелектричного кондиціонування, що описані у попередньому розділі, можна зробити ряд важливих висновків. Найбільш поширеним у використанні є варіант схеми А – термоелектричне кондиціонування сидіння із використанням повітряного охолодження при відведенні тепла у кабіну автомобіля. Це зумовлено простотою реалізації такої схеми, оскільки такий термоелектричний кондиціонер є універсальним і автономним та не потребує додаткових змін у конструкції автомобіля. Проте у такої схеми є і недоліки. Найбільший з них пов'язаний із тим, що загальна ефективність охолодження буде меншою ніж у варіантах схем Б та Г, оскільки відпрацьоване тепло не буде відводитися у оточуюче середовище, а призводитиме до невеликого зростання загальної температури всередині об'єму автомобіля.

Кондиціонер, який працює за варіантом схеми Г, має найбільшу ефективність. Його перевага над варіантом схеми В полягає у відведенні відпрацьованого тепла поза межі транспорту, а переваги над варіантами схеми А та Б у більшій ефективності вибраного способу охолодження. При цьому такий варіант є найбільш складним у реалізації, оскільки до габаритної системи рідинного охолодження потрібно ще додатково реалізовувати спеціальні отвори для відпрацьованого тепла. Тому на сьогодні такий спосіб кондиціонування комерційно не реалізований, хоча ведуться наукові дослідження для впровадження його у виробництво.

В залежності від самого процесу реалізації термоелектричного кондиціонування для сидінь автомобілів є два найбільш доцільних варіанти. Якщо пріоритетним при виробництві такого кондиціонера є його автономність і відсутність прив'язки до конкретної конструкції транспортного засобу, то найкращий варіант за схемою А. При цьому потрібно розуміти втрати у ефективності такого кондиціонера.

Найбільш доцільним з позиції енергетичної ефективності є варіант схеми Г, проте в такому випадку необхідно проводити конструювання і оптимізацію термоелектричного кондиціонера спільно із розробкою самого транспортного засобу.

Висновки

1. Визначено найбільш раціональні варіанти термоелектричних кондиціонерів для сидінь транспортних засобів.
2. Використання варіанту схеми А є найбільш раціональним при розробці автономної та універсальної системи кондиціонування, яка може бути використана для будь-якого сидіння існуючого автомобіля. Це дозволить забезпечити масове використання таких кондиціонерів.

3. Найбільш доцільним з позиції енергетичної ефективності є варіант схеми Г, проте в такому випадку необхідно проводити конструювання і оптимізацію термоелектричного кондиціонера спільно із розробкою самого транспортного засобу.

Література

1. <https://www.autonews.ru/news/5c9114d69a7947491f827c6e>
2. Lee M.Y. Lee, D.Y. (2013). Review on conventional air conditioning, alternative refrigerants and CO₂ heat pumps for vehicles. *Adv. Mech. Eng.*, 5, 713924
3. Lee H.S. Lee, M.-Y. (2013). Cooling performance characteristics on mobile air-conditioning system for hybrid electric vehicles. *Adv. Mech. Eng.*, 5, 282313.
4. Ma G.Y. (1998). Study on thermoelectric air conditioning for electric vehicles. *Refrig. Air Cond.*, 14, 5–10
5. Qi Z.G. (2014). Advances on air conditioning and heat pump system in electric vehicles – A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 38, 754–764.
6. Qinghong Peng and Qungui Du. (2016). Progress in heat pump air conditioning systems for electric vehicles – A Review. *Open Access Energies*, 9(4), 240; doi: 10.3390/en9040240.
7. Розвер Ю.Ю. Термоелектричний кондиціонер для транспортних засобів // *Термоелектрика*. – № 2. – 2003. – С. 52 – 56.
8. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Про ефективність термоелектричних кондиціонерів для транспортних засобів // *Термоелектрика* - №1. - 2019. – С. 86 – 94.
9. Chuqi Su, Wenbin Dong, Yadong Deng, Yiping Wang. Numerical and Experimental Investigation on the Performance of a Thermoelectric Cooling Automotive Seat // *Journal of Electronic Materials* – 2017; DOI: 10.1007/s11664-017-5960-4
10. Pat US6119463A. - Thermoelectric heat exchanger / Lon E. Bell. – Pub. Date: 2001.
11. Pat US5524439A. - Variable temperature seat climate control system / David F. Gallup, David R. Noles, Richard R. Willis. – Pub. Date: 1993.
12. Pat US20050161193A1. - Seat heating and cooling system / Chris McKenzie, Danny Bates. – Pub. Date: 2004.
13. Pat US7827805B2. - Seat climate control system / Brian Comiskey, John Terech. – Pub. Date: 1998.
14. Pat US5924766A. - Temperature conditioner for vehicle seat / Hidenori Esaki, Tomohide Kudo, Takeshi Shiba. – Pub. Date: 1998
15. Pat US4923248A. - Cooling and heating seat pad construction / Steve Feher. – Pub. Date: 1988.
16. Pat US5921314A. - Conditioned seat / Ferdinand Schuller, Hans-Georg Rauh, Gunter Lorenzen, Michael Weiss. – Pub. Date: 1996.
17. H. Du, Y.P. Wang, X.H. Yuan, Y.D. Deng, C.Q. Su. Experimental Investigation of a Temperature-Controlled Car Seat Powered by an Exhaust Thermoelectric Generator // *Journal of Electronic Materials*, Vol. 45, No. 3, 2016

18. Abdulmunaem Elarysi, Alaa Attar, Hosung Lee. Analysis and Experimental Investigation of Optimum Design of Thermoelectric Cooling/Heating System for Car Seat Climate Control (CSCC) // Journal of Electronic Materials – 2017; DOI: 10.1007/s11664-017-5854-5
19. H.S. Choi, S. Yun, and K.I. Whang, Appl. Therm. Eng. 27, 2841 (2007).
20. M. Vinoth and D. Prema, in 2014 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), vol. 188 (2014).
21. Steve Feher. Thermoelectric Air Conditioned Variable Temperature Seat (VTS) and Effect Upon Vehicle Occupant Comfort, Vehicle Energy Efficiency, and Vehicle Environmental Compatibility // SAE Technical Paper, 931111 (1993).
22. Alaa Attar, Housung Lee, Sean Weera. Experimental Validation of the Optimum Design of an Automotive Air-to-Air Thermoelectric Air Conditioner (TEAC) // Journal of Electronic Materials – 2015; DOI: 10.1007/s11664-015-3750-4
23. M. Menon, H. Harry Asada. Iterative Learning Control of Shape Memory Alloy Actuators with Thermoelectric Temperature Regulation for a Multifunctional Car Seat // Proceedings of the 2006 American Control Conference Minneapolis, Minnesota, USA, June 14-16, 2006.
24. <https://www.gentherm.com/en/home>
25. <https://www.dhamainnovations.com/seating>
26. <http://www.huimao.com/about/show.php?lang=en&id=2>
27. <http://arizonaline-x.com/about.html>
28. <https://tempronics-pcs.com/>
29. Pat JP3637395B2. - Vehicle air conditioner and seat heating / cooling device / David Knolls, Yoshihiko Hotta. – Pub. Date: 1997.
30. Pat US5117638A. - Selectively cooled or heated seat construction and apparatus for providing temperature conditioned fluid and method therefor / Steve Feher. – Pub. Date: 1991.

Надійшла до редакції 13.08.2020

Анатычук Л.І., *акад. НАН України*^{1,2}

Прибила А.В. *канд. физ.-мат. наук*^{1,2}

Кібак А.М.¹

¹Інститут термоелектричества НАН и МОН України,

ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина,

e-mail: anatysh@gmail.com;

²Черновицкий национальный университет

им. Юрия Федьковича, ул. Коцюбинского, 2,

Черновцы, 58012, Украина

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНДИЦИОНЕРЫ ДЛЯ СИДЕНИЙ АВТОТРАНСПОРТА

В работе рассматриваются перспективы использования термоэлектрического кондиционирования сидений автотранспорта, при помощи которого могут быть осуществлены экономия энергетических ресурсов и улучшение температурных условий пребывания человека в транспортном средстве. Для определения наиболее рациональных вариантов использования данных кондиционеров осуществлена их классификация в зависимости от способа термоэлектрического кондиционирования. Библиография 30, рис. 4.

Ключевые слова: термоэлектрический кондиционер, термоэлектрический тепловой насос, кондиционирование, тепловые условия.

Anatychuk L.I., *Academician of the NAS of Ukraine*^{1,2}

Prybyla A.V., *Cand. of Phys. and Math. Sciences*^{1,2}

Kibak A.M.¹

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine,
e-mail: anatykh@gmail.com;

² Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
2, Kotsiubynsky str., Chernivtsi, 58012, Ukraine

THERMOELECTRIC AIR CONDITIONERS FOR VEHICLE SEATS

The paper discusses the prospects of thermoelectric air conditioning of vehicle seats, which can be used to save energy resources and improve the temperature conditions of a person's stay in a vehicle. To determine the most rational options for using these air conditioners, their classification was carried out depending on the method of thermoelectric air conditioning. Bibl. 30, Fig. 4.

Key words: thermoelectric air conditioner, thermoelectric heat pump, air conditioning, thermal conditions.

References

1. <https://www.autonews.ru/news/5c9114d69a7947491f827c6e>
2. Lee M.Y., Lee D.Y. (2013). Review on conventional air conditioning, alternative refrigerants and CO₂ heat pumps for vehicles. *Adv. Mech. Eng.*, 5, 713924

3. Lee H.S., Lee M.Y. (2013). Cooling performance characteristics on mobile air-conditioning system for hybrid electric vehicles. *Adv. Mech. Eng.*, 5, 282313.
4. Ma G.Y. (1998). Study on thermoelectric air conditioning for electric vehicles. *Refrig. Air Cond.*, 14, 5–10
5. Qi Z.G. (2014). Advances on air conditioning and heat pump system in electric vehicles – A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 38, 754–764.
6. Qinghong Peng and Qungui Du. (2016). Progress in heat pump air conditioning systems for electric vehicles – A Review. *Open Access Energies*, 9(4), 240; doi: 10.3390/en9040240.
7. Rozver Yu.Yu. (2003). Thermoelectric air conditioner for vehicles. *J. Thermoelectricity*, 2, 52 – 56.
8. Anatyчук L.I., Prybyla A.V. (2019). On the efficiency of thermoelectric air conditioners for vehicles. *J. Thermoelectricity*, 1, 86 – 94.
9. Chuqi Su, Wenbin Dong, Yadong Deng, Yiping Wang. (2017). Numerical and experimental investigation on the performance of a thermoelectric cooling automotive seat. *Journal of Electronic Materials*; DOI: 10.1007/s11664-017-5960-4
10. Pat US6119463A (2001). Lon Bell. Thermoelectric heat exchanger.
11. Pat US5524439A (1993). David F. Gallup, David R. Noles, Richard R. Willis. Variable temperature seat climate control system
12. Pat US20050161193A1 (2004). Chris McKenzie, Danny Bates. Seat heating and cooling system.
13. Pat US7827805B2 (1998). Brian Comiskey, John Terech. Seat climate control system.
14. Pat US5924766A (1998). Hidenori Esaki, Tomohide Kudo, Takeshi Shiba. Temperature conditioner for vehicle seat.
15. Pat US4923248A (1998). Steve Feher. Cooling and heating seat pad construction.
16. Pat US5921314A (1996). Ferdinand Schuller, Hans-Georg Rauh, Gunter Lorenzen, Michael Weiss. Conditioned seat.
17. Du H., Wang Y.P., Yuan X.H., Deng Y.D., Su C.Q. (2016). Experimental investigation of a temperature-controlled car seat powered by an exhaust thermoelectric generator. *Journal of Electronic Materials*, 45(3).
18. Elarysi Abdulmunaem, Attar Alaa, Lee Hosung. (2017). Analysis and experimental investigation of optimum design of thermoelectric cooling/heating system for car seat climate control (CSCC). *Journal of Electronic Materials*; DOI: 10.1007/s11664-017-5854-5
19. Choi H.S., Yun S., and Whang K.I. (2007). *Appl. Therm. Eng.* 27, 2841.
20. Vinoth M. and Prema D. (2014). *2014 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, vol. 188.
21. Feher Steve (1993). Thermoelectric air conditioned variable temperature seat (VTS) and effect upon vehicle occupant comfort, vehicle energy efficiency, and vehicle environmental compatibility. *SAE Technical Paper*, 931111.

22. Attar Alaa, Lee Hosung, Weera Sean (2015). Experimental validation of the optimum design of an automotive air-to-air thermoelectric air conditioner (TEAC). *Journal of Electronic Materials*; DOI: 10.1007/s11664-015-3750-4
23. Menon M., Asada H. Harry. (2006). Iterative learning control of shape memory alloy actuators with thermoelectric temperature regulation for a multifunctional car seat. *Proceedings of the 2006 American Control Conference Minneapolis* (Minnesota, USA, June 14-16, 2006).
24. <https://www.gentherm.com/en/home>
25. <https://www.dhamainnovations.com/seating>
26. <http://www.huimao.com/about/show.php?lang=en&id=2>
27. <http://arizonaline-x.com/about.html>
28. <https://tempronics-pcs.com/>
29. Pat JP3637395B2 (1997). David Knolls, Yoshihiko Hotta. Vehicle air conditioner and seat
30. heating / cooling device.
31. Pat US5117638A (1991). Steve Feher. Selectively cooled or heated seat construction and apparatus for providing temperature conditioned fluid and method therefor.

Submitted 13.08.2020