

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ КАБІН ЛОКОМОТИВІВ

Розглянуто існуючі системи кондиціювання повітря на мобільних машинах, виконано аналіз їх сильних і слабких сторін. Запропоновано поліпшену систему кондиціювання повітря для кабіни локомотива на базі регенеративного непрямо-випарного охолоджувача.

Рассмотрены существующие системы кондиционирования воздуха на мобильных машинах, выполнен анализ их сильных и слабых сторон. Предложена улучшенная система кондиционирования воздуха для кабины локомотива на базе регенеративного косвенно-испарительного охладителя.

The existing systems of an air conditioning by mobile machines are considered, the analysis of the strengths and weaknesses is performed. The improved conditioning system for a locomotive cabin is proposed on the basis of regenerative indirect evaporation cooling.

У літній період робота машиністів локомотивів протікає в тяжких умовах, викликаних підвищеною температурою зовнішнього повітря і значними внутрішніми тепловиділеннями. Температура усередині кабіни значно вище встановленої санітарними нормами, в окремих випадках вона досягає 45...50 °С, що знижує працездатність машиніста та точність виконання робочих операцій [1].

У світовій практиці намітилася тенденція до широкого впровадження кліматичних установок у кабінах локомотивів. В Україні ж на даний час системами кондиціювання повітря оснащено лише невелика кількість локомотивів [2].

Одним з небагатьох, спеціально розроблених для кабіни локомотивів у кінці 20 століття в СРСР, був транспортний кондиціонер КТТ-4,5 компресійного типу, призначений для роботи влітку і, який мав номінальну холодопродуктивність 5 кВт. Компресор, конденсатор і випарник змонтовані на одній твердій плиті та з'єднані між собою мідними трубками. Кондиціонер установлюється над кабіною в спеціально передбаченому в даху вирізі кришки люка. У верхній, виступаючій над локомотивом частині розташовані компресор і повітрязабірник, а в нижній – випарник і забірник рециркуляційного повітря з фільтром. У повітроохолоджувач повітря надходить як з кабіни локомотива, так і зовні. Охолоджене повітря по повітророзподільних каналах подається на стелю, переднє вікно кабіни та до робочих місць машиніста і помічника машиніста. Рециркуляційне повітря забирається з кабіни у верхній частині, проходить через фільтри і змішується з потоком зовнішнього повітря.

Використання подібних класичних установок кондиціювання повітря з парокompресійною холодильною машиною для створення належних умов праці локомотивної бригади пов'язане з досить істотними недоліками таких систем: екологічною небезпекою використання фреонів, що пов'язана з руйнуванням ними озонного шару Землі; у результаті підвищеної вібрації виникають труднощі забезпечення герметичності з'єднань; необхідність наявності висококваліфікованих фахівців і стаціонарних спеціально обладнаних майстерень для здійснення обслуговування і ремонту холодильної машини. Крім того зазначений вище кондиціонер працює на змінному струмі, що змушує обладнувати локомотив додатковим джерелом змінного струму потужністю 5 кВт. Ці недоліки значно стримують темпи впровадження таких систем кондиціювання для даного класу споживачів.

Починаючи із шістдесятих років минулого сторіччя активно ведуться роботи з пошуку альтернативної системи кондиціювання повітря для кабіни локомотивів. Серед таких розробок можна відзначити використання для охолодження повітря вихрового ефекту, що здійснюється у вихровій трубці, запропонованої французьким інженером Ранком [3].

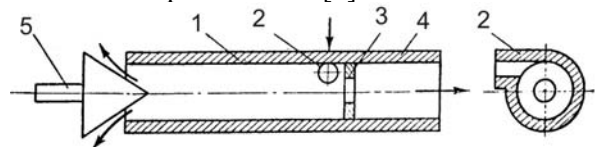


Рис. 1. Вихрова труба

Вихрова труба (рис. 1) являє собою відрізок циліндричної труби, розділену діафрагмою 3

на дві частини. Повітря, яке стиснуте у компресорі та має температуру навколишнього середовища, надходить у сопло 2. На виході із сопла повітря розширюється, входить у порожнину труби з великою швидкістю розділяючись на два потоки з різними температурами. Кутова швидкість обертання потоку на периферії труби невелика та дуже велика поблизу осі труби. По мірі руху повітря кутові швидкості потоку внаслідок сил тертя між газовими шарами змінюються. У внутрішніх центральних шарах швидкість зменшується, а в зовнішніх зростає; при цьому кінетична енергія внутрішніх шарів передається зовнішнім і внутрішнім шарам. Значна частина кінетичної енергії зовнішніх шарів витрачається на тертя, що приводить до їхнього нагрівання.

У вихровій трубі можна одержати холодне повітря з температурою  $-10\dots-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  і гаряче повітря з температурою  $100\dots130\text{ }^{\circ}\text{C}$  при помірних тисках повітря  $\sim 0,5\text{ МПа}$  та температурі навколишнього середовища близької до  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Незважаючи на всі позитивні моменти, холодильний процес у вихровій трубі пов'язаний зі значними витратами електроенергії. І в результаті необоротності термодинамічних процесів, що відбуваються в трубі цей метод охолодження повітря поки що не знайшов широкого застосування на транспорті, окрім авіації.

В останні роки робляться спроби впровадження на транспорті термоелектричних систем кондиціонування повітря, працюючих на основі ефекту Пельтьє. Охолоджується повітря за допомогою термоелементів (термопар), складених з двох послідовно з'єднаних мідними пластинами напівпровідників. В термоелектричних кондиціонерах, на відміну від компресійних, немає гідравлічних та механічних систем (окрім вентиляторів), тому такі кондиціонери практично не зношуються. Надійність термоелектричного пристрою дуже велика. Термоелектричні батареї не бояться трясіння, вібрації та не потребують спеціальних умов зберігання. Термоелектричні кондиціонери легко керуються зміною напруги живлення. У них може бути просто здійснено переведення з режиму охолодження в режим опалення зміною полярності постійного струму, яким живляться термоелементи.

В той же час термоелектричним кондиціонерам притаманні серйозні недоліки. При температурі зовнішнього повітря вище  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  та повітряному охолодженні спайв термоелектричні кондиціонери працюють не ефективно. Крім того їх маса не нижче маси фреонових кондиці-

онерів тієї ж продуктивності, а витрата енергії значно вища. Висока вартість напівпровідникових термоелементів, а також відсутність потужних джерел постійного струму стримують використання термоелектричних кондиціонерів. В даний час термоелектричні кондиціонери випускають в обмеженій кількості для літаків сільськогосподарської авіації.

Іншим цікавим напрямком є розвиток систем кондиціонування випарного типу.

Одні з перших спроб впровадження такого типу охолоджувачів повітря була зроблена А. В. Захаровим [3]. Запропонований ним прилад, так званий кліматизер, за принципом дії відноситься до пристроїв прямого випарного охолодження і являє собою циліндр, нижня частина якого охоплена коробом прямокутного перетину (рис. 2). За допомогою хомутів 12 у корпусі електродвигун 3 закріплено вертикально. На вісь електродвигуна зверху насаджений вентилятор 4 з повітророзпилювачем 5. Інший кінець осі електродвигуна приводить в обертання вал водяного насоса 1. З бака (ємністю близько 67 літрів), встановленого на даху локомотива, вода надходить самопливом у піддон кліматизера. Рівень води в піддоні регулюється поплавковим клапаном. Для зменшення коливання води при русі локомотива на її поверхні плаває дерев'яне коло 15.

Зовнішнє повітря, проходячи через змочений фільтр, зволожується, очищається від пилу та охолоджується за рахунок відбирання від води явної теплоти, що іде на випар води. Другий етап – охолодження та зволоження повітря в зоні розпилення води і третій – зволоження повітря за рахунок крапельок води, винесених повітрям із кліматизера в кабінку.

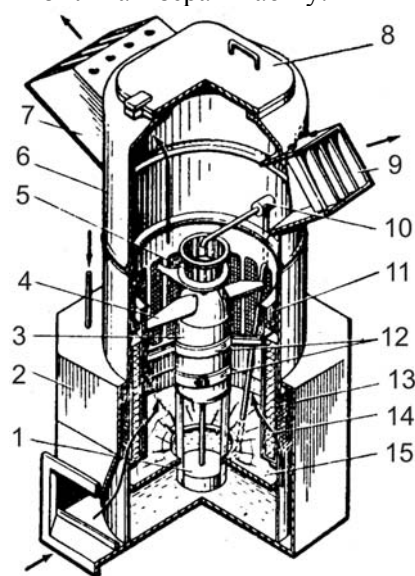


Рис. 2. Схема кліматизера

У ході проведення випробувань у кліматизера були виявлені наступні досить серйозні недоліки: нерівномірне надходження зовнішнього повітря пов'язане зі швидкістю руху локомотива; вологість повітря, що подається в кабіну машиніста, практично нерегульована та може досягати досить значних величин; конструкція кліматизера виявилася досить громіздкою, що приводить до ускладнення дій локомотивної бригади.

На використанні ефекту випарного охолодження засновані установки непрямо-випарного охолодження, при якому повітря охолоджується при постійному вологовмісті [4]. Однак вони принципово відрізняються від кондиціонерів прямого випарного охолодження. У них є два потоки повітря, між якими відбувається теплообмін. В одному з потоків (допоміжному) випарується вода – повітря при цьому зволожується, температура його падає. Це повітря викидається назовні. Паралельний йому основний потік повітря охолоджується в результаті теплообміну, але вологовміст його при цьому не збільшується. Цей потік повітря подається в кабіну.

Цьому типу кондиціонерів також властиві недоліки, пов'язані із граничним вологовмістом, при якому непрямо-випарне охолодження може забезпечити припустиму вологість повітря в кабіні локомотива. Роботи з розвитку таких кондиціонерів ведуться постійно, а часто і робляться спроби об'єднати його з іншим типом систем кондиціонування повітря в одному пристрої. Так, наприклад, непрямо-випарна рекуперативна установка [5], що складається з охолоджувача непрямо-випарного типу та парокompресійної машини. Така система кондиціонування здатна працювати у двох режимах: влітку – в режим охолодження з використанням окремо непрямо-випарного охолоджувача або разом з парокompресійною машиною; узимку - використовується тільки перший ступінь кондиціонера і він працює в режимі рекуператора теплової енергії. Незважаючи на практично необмежений діапазон використання такого кондиціонера, застосування парокompресійної машини приводить до ускладнення конструкції і проблемам при обслуговуванні й експлуатації.

Більший ефект, у порівнянні з непрямим і прямим охолодженням, може бути отриманий у кондиціонерах з регенеративним охолодженням [6]. Принцип його заснований на можливому одержанні при звичайному непрямому випарі температури повітря, рівній температурі точки роси. При непрямому випарі це досяга-

ється шляхом послідовного охолодження повітрям води, потім охолодженою водою - повітря, а потім ще більш холодним повітрям знову води і т.д. Однак, якщо при непрямому випарі це здійснено в ряді послідовних установок, то при регенеративному непрямому випарі використовується одна установка [1].

Між тим, не зважаючи на цілий ряд переваг випарного охолодження, які, насамперед стосуються малої енергоємності і екологічної безпеки, воно має і суттєві недоліки. Ці недоліки пов'язані з необхідністю витрати води, а також залежністю ефективності охолодження від вологості атмосферного повітря.

Авторами даної статті зроблена заявка на корисну модель, яка полягає в тому що пристрій кондиціонування повітря включає в себе корпус, та розміщений у ньому блок охолоджувача повітря непрямого регенеративно-випарного типу, який, в свою чергу, складається з вентилятора і змонтованих на каркасі з піддоном паралельних пластин, які утворюють «сухі» та «мокрі» канали, що чергуються між собою, а також спрямовуючі заслінки і жалюзі. Новим є те, що він обладнаний блоком конденсації вологи з повітря, який виконано з напівпровідникових термоохолоджувальних елементів, на холодних спаях яких встановлено реберні радіатори - конденсатори вологи з охолодженого повітря, а на гарячих спаях розміщено водяний теплообмінник, який поєднується з додатковим охолоджуючим водо - повітряним теплообмінником; колектором з перфорованими трубками і мікронасосами, які встановлені у системі подачі води поверх «мокрих» каналів; електрофільтром, розташованим у трубці, що подає повітря у «сухі» канали.

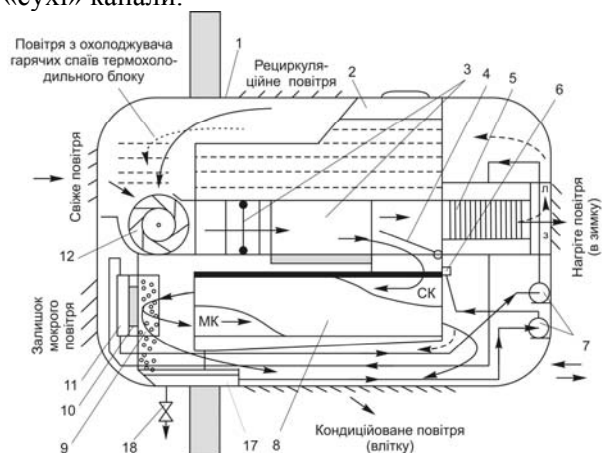


Рис. 3. Схема пристрою кондиціонування повітря

Конструкція кондиціонера (рис. 3) має корпус 1, бак для запасу води 2, електрофільтр 3, заслінку 4, теплообмінник 5, колектор з перфо-

рованими трубками 6, мікронасоси для перекачування води 7, охолоджуючий випарний блок 8, реберні радіатори, на яких відбувається конденсація вологи з повітря 9, термоохолодильні елементи 10, теплообмінник для охолодження гарячих спаїв термоохолодильних елементів 11, вентилятор 12, пористе покриття «мокрих» каналів 13, «сухі» канали 14, «мокрі» канали 15, піддон випарного блоку охолоджувача повітря 16.

Пристрій кондиціонування повітря діє наступним чином. Вентилятор 12 продуває повітря, що забирається частково з вулиці, а частково з приміщення для якого повітря конденціюється (так зване рециркуляційне повітря), через електрофільтр 3 у «сухі» канали 14 охолоджуючого випарного блоку 8.

При виході з «сухих» каналів охолоджене в них повітря потрапляє на реберні радіатори 9 термоохолодильного блоку, де відбувається конденсація частини вологи, що міститься в цьому повітрі. Підсушене повітря частково через відповідні жалюзі спрямовується у приміщення, для якого виконується його кондиціонування, а друга його частина іде в «мокрі» канали 15, де за його допомогою відбувається випарювання вологи з пористого покриття стінок цих каналів, за рахунок чого охолоджуються стінки суміжних з «мокрими» «сухих» каналів. Частина відпрацьованого повітря з «мокрих» каналів може підмішуватись у повітря, що рухається з «сухих» каналів у приміщення, для його зволоження до заданого рівня вологості, а інша викидається на вулицю через відповідні жалюзі.

Гарячі спаї термоохолодильних елементів 10 охолоджуються за допомогою водяного теплообмінника 11. Вода з теплообмінника за допомогою мікронасосу подається у теплообмінник 5, де охолоджується повітрям, яке подається вентилятором 12. Подача повітря регулюється заслінкою 4, а відпрацьоване повітря може викидатись влітку – через відповідні жалюзі на вулицю, а взимку підігріте повітря подається у приміщення. При цьому жалюзі для охолодженого повітря закриті, а охолоджене на реберних радіаторах термоохолодильного блоку повітря викидається на вулицю; вода у «мокрі» канали не подається. Влітку сконденсована на реберних радіаторах вода збирається у ємності для збору конденсату 17, звідки мікронасосом подається у колектор з перфорованими трубками для змочування пористого покриття «мокрих» каналів. Надлишок води збігає у піддон 16, звідки самопливом потрапляє у ту ж ємність. Взимку конденсат скидається на вулицю через патрубков з вентилем 18. При роботі кондиціо-

нера у автономному режимі створюється запас води, для чого служить бак 2.

Пропонований пристрій кондиціонування повітря у порівнянні з існуючими поєднує у собі корисні властивості прототипів та аналогів, а саме, простоту конструкції і економічність кондиціонерів випарного типу з можливістю реалізації роботи в режимі теплового насосу при мінімальній потребі у поповненні водою і незалежності ефективної роботи від кліматичних і погодних умов експлуатації; розширення можливості регулювання параметрів кондиціонованого повітря як по температурі, так і по вологості, а також по іонному складу і бактерицидним властивостям.

Розрахунки показали ефективність використання цього типу пристроїв кондиціонування повітря. Так, у порівнянні з фреоновим, кондиціонер вище зазначеного типу має вагу у чотири рази менше, а вартість у декілька разів нижче.

Ці переваги систем кондиціонування повітря з блоком охолоджувача регенеративного непрямо-випарного типу являються достатнім техніко-економічним обґрунтуванням для подальшого вдосконалення та впровадження в експлуатацію цього типу кондиціонерів.

#### ББЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Майсоценко В. С. Кондиционеры регенеративного косвенно испарительного типа / В. С. Майсоценко, А. Б. Цицерман, М. Г. Зексер // Санитарная техника, 1978, № 9. – С. 14-15.
2. Маханько М. Г. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах и локомотивах / М. Г. Маханько, Ю. П. Сидоров, А. Хенач, М. Шмидт. - М.: Транспорт, 1981. - 254 с.
3. Михайлов М. В. Микроклимат в кабинах мобильных машин / М. В. Михайлов, С. В. Гусева. - М.: Машиностроение, 1977. - 230 с.
4. Бушуйкин Ю. М. Кондиционирование воздуха в кабинах локомотивов // Тр. ЦНИИ МПС, 1970, вып. 411, 82 с.
5. Яковенко И. А. Новое в кондиционировании воздуха: косвенно-испарительная рекуперативная установка (КИРУС) / И. А. Яковенко, Е. А. Соловцов, А. Б. Цицерман // Журнал «Отопление. Водоснабжение. Вентиляция. Кондиционеры» № 3, 2005.
6. Цицерман А. Б. Термодинамические основы косвенно-испарительного охлаждения воздуха / Журнал «Отопление. Водоснабжение. Вентиляция. Кондиционеры.» № 3, 2006.

Надійшла до редколегії 25.07.2007.