

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Вагони»

І.Є. Мартинов, А.В. Труфанова

ХОЛОДИЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ВАГОНІВ

Конспект лекцій

Харків 2012

Мартинов І.Є., Труфанова А.В. Холодильне обладнання вагонів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ. – 2012. – 66 с.

В конспекті лекцій викладено фізичні основи отримання низьких температур, термодинамічні основи штучного охолодження, схеми та цикли парокомпресійних холодильних машин, робочий процес поршневого компресора, холодопродуктивність та споживана потужність холодильної машини, системи вентиляції установок кондиціонування повітря пасажирських вагонів.

Даний конспект лекцій може використовуватися як теоретичне джерело для виконання дипломних та курсових проектів, контрольних робіт, підготовки до практичних занять.

Рекомендується для студентів, що навчаються за спеціальністю 7.07010502 «вагони та вагонне господарство».

Іл. 11, бібліогр.: 16 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Вагони» від 26 квітня 2011 року, протокол № 12.

Рецензент
проф. А.П. Фалендиш

І.Є. Мартинов, А.В. Труфанова

ХОЛОДИЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ВАГОНІВ

Конспект лекцій

Відповідальний за випуск Труфанова А.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 08..06.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,25. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Механічний факультет

Кафедра «Вагони»

І.Є. Мартинов, А.В. Труфанова

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни
"ХОЛОДИЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ВАГОНІВ"**

Харків 2012

Мартинів І. Е., Труфанова А. В. Холодильне обладнання вагонів: Конспект лекцій.— Харків: УкрДАЗТ. — 2012.-66 с.

В конспекті лекцій викладено фізичні основи отримання низьких температур, термодинамічні основи штучного охолодження, схеми та цикли парокомпресійних холодильних машин, робочий процес поршневого компресора, холодопродуктивність та споживана потужність холодильної машини, системи вентиляції установок кондиціонування повітря пасажирських вагонів.

Даний конспект лекцій може використовуватися як теоретичне джерело для виконання дипломних та курсових проектів, контрольних робіт, підготовки до практичних занять.

Рекомендується для студентів, що навчаються за спеціальністю 7.07010502 «вагони та вагонне господарство».

Іл. 11, бібліогр.: 16 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Вагони» від 26.04.2011 року, протокол № 12

Рецензент

проф. А.П. Фалендиш

Лекція 1

СТИСЛІ ІСТОРИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО РОЗВИТОК ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Достовірно ніхто не знає, хто першим прийшов до думки про те, що продукти харчування зберігаються значно довше в охолодженому стані. Хоча, напевно, підсвідомо це відчували ще в давнину, природно вважаючи, що життя і тепло - поняття якщо не еквівалентні, то дуже близькі. Той невеликий досвід зберігання продуктів, який існував, підказував, що залишена в тіні їжа зберігалася довше, ніж на сонці, а взимку продукти залишалися придатними для харчування істотно довше, ніж влітку.

Причина такого чудотворного впливу низької температури на продукти полягає в тому, що зі зниженням температури сповільнюється швидкість життєдіяльності і розмноження бактерій та інших мікроорганізмів, наявних у продуктах. А якщо знизити температуру досить сильно, то "життя" бактерій взагалі можна зупинити.

Як же наші предки боролися за збереження продуктів? Довгий час єдиним доступним способом охолодження продуктів було використання природних джерел холоду - люди збирали в морозну погоду лід з річок і озер і затарювали ним льохи і ямильодовики, а влітку там зберігали продукти. Цим нехитрим прийомом мудрі китайці користувалися ще за тисячу років до нашої ери. Так само чинили й багато інших стародавніх цивілізацій, наприклад, греки та римляни.

Єгиптяни, в силу жаркого клімату позбавлені можливості запасати лід, використовували спеціальні ємкості з водою, які охолоджувалися ночами. Повітря в пустелі остигає швидко, і його температура вночі може падати майже до 0 °С.

У жаркому кліматі Індії знайшов застосування інший спосіб, заснований на ефекті зниження температури рідини при випаровуванні. Якщо змусити випаровуватися рідину досить інтенсивно, то можна знизити температуру нижче навколишнього повітря. Знаючи це, індійці виставляли на вітер посудину, обгорнуту вологою тканиною. Звичайно, ефективність такого

примітивного способу невелика, значного охолодження з його допомогою досягти неможливо.

Більш технологічна і матеріалістично налаштована Європа шукала інші способи зниження температури. Як тільки похмурі Середньовіччя злегка відкрило можливість проведення природничо-наукових досліджень, люди виявили, що деякі солі, наприклад, селітра, розчиняючись у воді, поглинають велику кількість тепла, викликаючи значне зниження температури навколишнього середовища. Користуючись термінами сучасної хімії, можна сказати, що відбувається ендотермічна реакція - реакція з поглинанням тепла. Цю можливість зниження температури можна назвати першим способом штучного охолодження. Якщо змішати селітру не з водою кімнатної температури, а з льодом, то можна отримати склад, здатний охолодити продукти або напої до температури значно нижче нуля.

Це відкриття широко використовувалося ще в XVI столітті для охолодження вина, отримання охолоджених напоїв і соків і навіть морозива. На жаль, через порівняно високу вартість цей спосіб не набув широкого розповсюдження серед населення і не знайшов комерційного застосування. Однак, незважаючи на свою дорожнечу, це відкриття використовується і зараз у сучасних, так званих охолоджувальних, або гіпотермічних пакетах ("cold packs"), які широко використовуються лікарями, вченими, туристами і рятувальниками при необхідності досягти швидкого охолодження в польових умовах. Ці пакети становлять собою м'які герметичні ємкості з водою, всередині яких "плаває" капсула з аміачною селітрою. При необхідності охолодження вдаряють по пакету, розбиваючи капсулу. Селітра розчиняється у воді, і пакет охолоджується на 10-15 °C.

Декількома століттями пізніше – в 1748 р. Вільям Каллен, професор медицини університету Глазго, відомий хірург і терапевт, спробував використовувати для охолодження згадуване вище явище охолодження рідини при інтенсивному випаровуванні. На відміну від індійців він використав не вітер і змочену тканину, а діетиловий ефір, що кипить у вакуумі. Використання вакууму дозволило знизити температуру кипіння ефіру нижче кімнатної (на той час фізики вже знали, що зі

зниженням тиску температура кипіння рідини знижується, тому при достатньому розрідженні деякі речовини можуть кипіти навіть при негативних температурах). В установці Вільяма, випаровуючись, ефір у вигляді газу переходив в іншу ємкість, де, конденсуючись при кімнатній температурі, віддавав в атмосферу відібране в холодильній камері тепло. Таким чином, був сконструйований апарат, що показав на практиці можливість постійної генерації холоду в циклічному процесі. На основі цієї технології працюють більшість сучасних побутових холодильників. Тобто 1748 рік можна вважати роком народження технології штучного охолодження. На жаль, практичного застосування в той час відкриття штучного охолодження не знайшло, залишившись тільки експериментом.

У Сполучених Штатах Америки на відміну від академічної Європи, де проблема охолодження вирішувалася в університетах, основною рушійною силою і спонукальним мотивом для будь-якої дії була додаткова вартість. Тому як тільки з'явився натяк на потребу в охолодженні, ця потреба миттєво була задоволена. Природно, єдиним відомим і очевидним тоді способом. Взимку 1799 р. у США вперше на комерційній основі почався збір льоду з поверхні озер і річок. З часом цей бізнес розвинувся до таких масштабів, що були налагоджені поставки льоду з півночі навіть в тропічні регіони. У 1890 р. експорт льоду з США склав 25 млн т. Найбільш успішні комерсанти, відомі тоді як "крижані королі", стали мільйонерами. За часів "крижаних королів" в Америці не було практично жодного водоймища, з якого взимку не знімали б "урожай" льоду. Звичайно, в Австралії або на Карибських островах, куди лід доставлявся за тисячі кілометрів, купували його лише багаті люди, але в США до середини ХІХ ст. багато сімей щоранку отримували свіжий лід для своїх "холодильників". Сама назва "холодильник" (англ. "refrigerator") була вперше запропонована в 1800 р. Томасом Муром, інженером і особистим другом президента Джефферсона, а також одним із співзасновників Національного Сільськогосподарського товариства.

Корпус його "холодильника" був з кедр, всередині знаходився контейнер з металевих листів, ізолюваних від корпусу кролячим хутром. У ХІХ ст. такі пристрої швидко

поширилися з розвитком "крижаної" індустрії, частіше їх називали "айс-боксами" (крижаними ящиками). Як правило, вони являли собою дерев'яні ящики, обшиті усередині свинцем або оловом, і мали два ізольованих за допомогою коркового дерева, тирси або сушених водоростей відсіки: один - для охолоджуваних продуктів, інший - для льоду, замінюваного в міру необхідності. Пристрій було забезпечено збірником талої води, який необхідно було кожен день спорожнити. А службовців, які займалися доставкою льоду, називали «айс-менами» «крижаними людьми».

У сорокових роках ХІХ ст. з'явилися і вози-рефрижератори, що працювали за тим же принципом і були призначені для перевезення швидкопсувних продуктів, таких як молоко, масло або морепродукти. А в 1867 р. був запатентований залізничний вагон-рефрижератор з відсіками для льоду на початку і в кінці вагона і системою циркуляції охолоджувального повітря. Перший такий вагон використовувався для перевезення полуниці на Іллінойській залізниці.

Незважаючи на бурхливий розквіт процесу збору натурального льоду, спроби створити пристрій для одержання штучного холоду тривали. Вже в 1805 р. американець Олівер Еванс, інженер, відомий своїми розробками в галузі вдосконалення парових двигунів, створив першу самохідну машину-амфібію на паровому ході, призначену для чищення доків у Філадельфії, спроектував охолоджуючу установку, принцип дії якої було засновано на ефекті, продемонстрованому Калленом. Холодоагентом в установці повинен був бути діетиловий ефір. Щоб створити просту холодильну машину, яка ефективно працює, він пропонував використовувати замкнутий компресійний цикл: компресор стискає під тиском пару холодоагенту, підвищуючи цим його температуру кипіння і дозволяючи сконденсуватися в охолоджуваному повітрям конденсаторі, з конденсатора через регульований вентиль холодоагент надходить у вакуум-випаровувач, де він закипає і випаровується, відбираючи на це тепло з навколишнього середовища, і знову втягується компресором в конденсатор. Таким чином, різницю тисків у випаровувачі і конденсаторі, і, відповідно, температуру охолодження, що досягається у випарнику (а вона залежить від глибини вакууму), можна

регулювати, лише відкриваючи або закриваючи регулювальний вентиль. Свою установку Еванс так і не побудував.

Першою людиною, що втілила ці теоретичні дослідження в життя, став Джейкоб Перкінс, який у 1834 р. створив компресійну установку, яка працювала на ефірі. Він отримав перший у США патент на технологію штучного охолодження. Втім, цей патент не був єдиним для нього. Перкінс був відомим інженером-винахідником. На його рахунок, наприклад, розроблення нового методу виготовлення і копіювання друкованих форм, що дозволило значно підвищити захист грошових знаків від підробки і почати друкування поштових марок масовими тиражами. Він також удосконалив парову машину, створив верстат для виготовлення цвяхів однією операцією і багато іншого.

Через 10 років – у 1844 р. американський лікар Джон Горі створив засновану на компресійному циклі установку, що дозволяє виробляти лід для госпіталю та кондиціонувати палати. Таким чином, він став піонером в технології кондиціонування повітря. У його плани входило почати серійне виробництво своїх установок. Більш того, в 1851 р. він отримав перший у США патент на модель холодильного агрегату, проте в 1855 р. він помер, так і не дочекавшись початку виробництва свого дітища. Треба відзначити, що дешевина і доступність натурального льоду в США в той час ніяк не сприяла комерційному впровадженню нових досягнень у цій галузі. Інша справа – Австралія. Тут привізний американський лід був воістину на вагу золота, і, можливо, саме це спонукало британського журналіста Джеймса Харрісона, який приїхав до Австралії в 1837 р., почати створення своєї компресійної машини. Він не зміг на місці завершити її створення, але повернувшись до Англії, знайшов помічників для закінчення робіт і в 1855 р. знову приїхав до Австралії з працюючим холодильником. Тут його машина виявилася більш ніж затребуваною, і незабаром він уклав контракт на будівництво холодильного пристрою для пивоварні. Це було перше комерційно успішне використання штучного охолодження.

Тим часом, незважаючи на очевидні успіхи розробників компресійних установок, паралельно йшло розроблення альтернативних методів отримання холоду. Приблизно в той же

час, в 1810 р., у Великобританії професор Единбурзького університету Джон Леслі запропонував використовувати для охолодження технологію, засновану на процесі абсорбції (поглинання) сірчистого газу водою. Перевагою даного процесу є те, що його можна здійснити без використання рухомих частин, а як джерело енергії використати обігрів за допомогою звичайної вугільної топки. Останнє було важливим фактором у ХІХ ст., коли рівень розвитку техніки утрудняв створення досить потужних і компактних компресорів, необхідних для роботи холодильної установки компресійного типу.

Однак уперше працюючий холодильний пристрій абсорбційного типу було створено лише сорок років по тому, в 1850 р., французом Едмондом Карре. Його брат Фердинанд Карре удосконалив цю установку і в 1859 р. представив пристрій, що охолоджує, який працював на основі абсорбції з використанням водно-аміачної суміші. А в 1862 р. на виставці в Лондоні він представив свою машину, що виробляла до 200 кг льоду на годину. Ці перші зразки холодильних машин були дуже громіздкі і дорогі, а використовувані в них холодоагенти (ефір, аміак, сірчистий газ) і сірчана кислота, що утворюється при розчиненні у воді, - отруйні, їдкі або вогненебезпечні. Все це гальмувало практичне застосування холодильних установок.

Як це часто буває, свою історичну роль у русі інженерної та наукової думки відіграла громадянська війна. Одним з результатів початку військових дій стали перебої, а потім і повне припинення поставок льоду з Півночі в штати Конфедерації на Південь країни. У цей же самий час на Півночі масового поширення набуло пивоваріння, що стало першою галуззю, в якій почала масово застосовуватися система охолодження продуктів. Піонером стала абсорбційна машина, запущена бруклінською пивоварнею S. Liebermann 's Sons Brewing Company в 1870 р. Далі галузь застосування холодильних установок почала стрімко розширюватися. Згадуваний раніше Фердинанд Карре, просуваючи своє дітище, в 1877 р. спроектував холодильну установку для судна "Парагвай", першого корабля-рефрижератора, призначеного для транспортування замороженого м'яса з Аргентини до Франції.

Крім очевидних успіхів технології одержання штучного льоду, найсильнішим стимулом до поширення холодильної техніки стали теплі зими 1889-1890 рр., які вдарили по індустрії збирання природного льоду, і забруднення річок та озер промисловими і побутовими стоками, що стало результатом інтенсивного індустріального розвитку кінця ХІХ ст. Заводи з виробництва штучного льоду незабаром почали конкурувати з підприємствами по збору натурального льоду, а потім і зовсім витіснили їх. Однак у побуті звичайних жителів ніяких змін не відбулося - просто тепер замість натурального льоду для своїх "айс-боксів" вони купували штучний.

До початку ХХ ст. ні в кого не викликало сумнівів, що створення холодильного пристрою для дому обіцяє великі дивіденди. Першу спробу створити побутовий холодильний пристрій зробив німецький інженер і вчений Карл фон Лінде. У 1873 р. він створив компресійний холодильник з використанням в ролі холодоагента метилового ефіру, але внаслідок його високої вогнебезпечності в 1876 р. перейшов на використання аміаку. Однак і ця модель ще була досить громіздка і була непридатною для домашнього використання. Вона знайшла застосування головним чином у промисловості. Через деякий час, в 1895 р., використовуючи свої розробки в галузі штучного охолодження, Карл фон Лінде спроектував велику фабрику з виробництва зрідженого повітря, а шістьма роками пізніше першим розробив технологію виділення чистого рідкого кисню з повітря - розробка, яка дозволила удосконалити багато промислових технологій, у першу чергу в металургії.

Холодильник, призначений для домашнього використання, вперше з'явився лише на початку ХХ ст. в 1910 р. у Форт Уейн, США. Фактично це був ще не повноцінний холодильник, а механічна приставка до "айс-боксу", розроблена компанією General Electric на основі конструкції, запропонованої і запатентованої ще в 1894 р. французьким ченцем Марселем Одіфреном. Холодильники вироблялися за контрактом з компанією Одіфрена American Audiffren Co. і коштували спочатку більше 1000 \$, в два рази дорожче автомобіля. А в 1915 р. там же, у Форт Уейн, Альфред Меллоуз розробив модель, яка вже являла собою автономну конструкцію з компресором, які

перебували в нижній її частині. У 1916 р. була організована компанія з виробництва холодильників - Guardian Refrigerator Company, що випустила свій перший холодильник 17 серпня 1916 р. Однак через складний фінансовий стан та орієнтацію на якісну, але дорожчу продукцію, за два роки компанія випустила лише 40 холодильників. У 1918 р. президент General Motors В. Дюран придбав компанію Guardian і дав їй ім'я Frigidaire. Завдяки потужностям і технологіям General Motors це стало поворотною точкою та початком широкого виробництва і розповсюдження холодильних агрегатів. Холодильник набуває сучасного вигляду. Протягом декількох років безліч фірм, таких як Kelvinator, Servel, Gibson, та ж General Electric розробили і запропонували на ринок свої моделі побутових холодильників. Компресор в них, як правило, приводився в дію пасовим приводом від двигуна, що знаходився в підвалі будинку або в сусідній кімнаті. Лише в 1927 р. конструктори General Electric на чолі з данським інженером Крістіаном Стінстрапом створили модель, всі складові частини якої були поміщені в невеликій шафі, а також забезпечили її терморегулятором. Ця конструкція з невеликими варіаціями використовується і зараз.

Однією з важливих розробок, що дозволила у 30-ті роки минулого століття розпочати справді масове виробництво побутових холодильників, стало створення холодоагентів хлорфторуглеродів, які замінили найбільш поширений тоді токсичний та їдкий діоксид сірки. За це завдання взявся у 1926 р. Томас Мідглі, відомий також як першовідкривач способу підвищення октанового числа бензину за допомогою його етилювання. Разом зі своїми колегами Хеном і МакНелі він синтезував дихлордифторметан, названий фреоном-12, – вогнебезпечну, нетоксичну, практично інертну речовину з температурою кипіння, що ідеально підходить для компресійних холодильних машин, а потім і інші хлорфторуглеці. На презентації свого творіння Мідглі продемонстрував його безпеку вельми вражаючим способом: вдихнув пари фреону і видихом загасив палаючу свічку. Фреони вважалися абсолютно безпечними до середини сімдесятих, коли було виявлено їх негативний вплив на озоновий шар. Але й за минулі з тих пір майже тридцять років озоноруйнівні речовини і технології

замінені безпечними не повністю, цей процес триває. В основному це стосується складних промислових виробництв і установок, оскільки в переважній більшості побутових холодильників, що випускаються в даний час, вже використовуються інші холодоагенти. Але в тридцять років після того, як було оголошено про створення фреонів (а це сталося лише у 1930 р.), вони швидко стали найбільш популярним холодоагентом, який незабаром практично витіснив у побутових моделях всі інші. Це дозволило фірмам-виробникам спростити і здешевити виробництво побутових холодильників і в результаті знизити ціни на свої вироби.

Лекція 2

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

2.1 Поняття про кондиціювання повітря

Температура, вологість, чистота та інші параметри повітря в тому випадку, коли вони відповідають нормам, сприяють доброму самопочуттю людей і успішному виконанню виробничих процесів. Для надання повітря певних властивостей використовується кондиціювання повітря.

Термін "кондиціювання повітря" означає обробку повітря.

На сучасному рівні розвитку суспільства вже неможливо обходитися без кондиціювання повітря. Для виробництва точної механіки, оптики, електронно-обчислювальної техніки, окрім певних значень температури та вологості, особливе значення має чистота повітря. Кондиціювання повітря за всіма параметрами необхідно на підводних човнах і космічних кораблях. Важливе значення кондиціювання повітря має у суспільних та побутових приміщеннях, особливо там, де збирається багато людей – в театрах, концертних залах, палацах спорту і т.п.

Необхідність застосування кондиціювання повітря в пасажирських вагонах обумовлена їх низькою стійкістю проти

морозу, малим об'ємом приміщення, що припадає на одного пасажера. Неабияке значення має також швидке пересування вагонів по залізницях, внаслідок чого вони за короткий час попадають у різні кліматичні зони та різні погодні умови.

Під кондиціонуванням повітря розуміють підготовку та підтримання заданих параметрів повітря незалежно від зміни кліматичних та погодних умов у приміщеннях.

2.2 Основні фізичні властивості повітря

Повітря є однорідною сумішшю декількох газів і водяної пари. У результаті життєдіяльності рослинного й тваринного світу та впливу космосу газовий склад повітря, чи інакше склад сухого повітря поза приміщеннями (за винятком території хімічних заводів, металургійних комбінатів і територій великих міст), порівняно постійний.

У процентному співвідношенні в повітрі нижніх навколоземних шарів атмосфери міститься в обсязі:

Азот	78,12
Кисень	20,9
Аргон	0,93
Вуглекислий газ	0,028
Неон, гелій, криптон і ксенон (у сумі)	0,002

У технічних розрахунках приймають вміст за обсягом кисню 21% і азоту (разом з інертними газами, вуглекислою та іншими домішками) 79 %.

Вміст у повітрі водяної пари на відміну від складу сухого повітря коливається у великих межах. Поза приміщеннями вміст водяної пари залежить від часу року, погоди і місцевих кліматичних умов. У приміщеннях їхній вміст залежить також від конкретних умов і в першу чергу від відносної (до об'єму приміщення) кількості присутніх людей.

Максимальний вміст водяної пари у повітрі визначається межею насичення, при досягненні якої подальше збільшення вмісту водяної пари не відбувається. Пара починає конденсуватися й випадати у вигляді крапель води, а при температурах нижче 0 °С - у вигляді інею. Чим вище температура повітря, тим більше в ньому може міститися водяної пари.

Кожній температурі відповідає своя межа насичення. Тому, якщо температура вологого повітря знижується, то при досягненні певного рівня (так званої точки роси) відбувається конденсація водяної пари, що знаходиться в ньому, із випаданням роси чи інею. У цьому стані повітря називається насиченим.

Межа насичення повітря водяними парами залежить також і від тиску. Однак тиск атмосферного повітря в його нижніх зонах змінюється в дуже незначних межах і тому в процесах, пов'язаних із кондиціонуванням повітря на залізничному транспорті, ним нехтують.

В теплотехнічних розрахунках повітря завжди розглядають як суміш двох складових: сухого повітря і водяної пари.

Маса пари, що міститься в 1 м^3 вологого повітря, називається абсолютною вологістю, вимірюваною у кілограмах.

Відношення кількості водяної пари, що міститься в повітрі, до її кількості, що насичує повітря при тих же температурі й тиску, називається відносною вологістю. Відносну вологість повітря прийнято виражати у відсотках. Для повністю сухого повітря $\varphi=0 \%$, для насиченого $\varphi=100 \%$.

Маса водяної пари, що міститься в 1 кг сухого повітря, називається вологовмістом і позначається буквою d (кг/кг). Величина (кілограм на кілограм, кг/кг) завжди є дробовою, що незручно для написання й розрахунків, тому вологовміст, як правило, виражають у розмірності (грам на кілограм, г/кг) і позначають літерою d .

Кількість тепла, необхідна для нагрівання 1 кг сухого повітря на 1°C , називається теплоємністю повітря. Вона позначається c_s і має розмірність джоуль на кілограм-градус (Дж/кг \times К) або кілоджоуль на кілограм-градус (кДж/кг \times К).

Теплоємність сухого повітря дорівнює $1084 \text{ кДж/кг}\times\text{К}$. Теплоємність водяної пари дорівнює $1926 \text{ кДж/кг}\times\text{К}$.

Якщо знати теплоємності сухого повітря і водяної пари, то можна визначити теплоємність вологого повітря за формулою

$$c_s = 1,084 + \frac{d}{1000} \cdot 1,926. \quad (2.1)$$

Кількість тепла, що міститься в 1 кг повітря, залежить від його температури t та вологовмісту d і називається питомим тепловмістом (чи питомою ентальпією).

Питома ентальпія позначається літерою i . При визначенні теплоємності повітря враховується схована теплота пароутворення води, що дорівнює 2491,15 кДж/кг.

Питомий тепловміст вологого повітря дорівнює сумі питомих тепловмістів сухого повітря і водяної пари, що міститься в ньому.

Співвідношення основних параметрів вологого повітря – температури, відносної вологості, вологовмісту, питомого тепловмісту - можна визначати за спеціальними таблицями або за діаграмою I-d вологого повітря (рисунок 2.1).

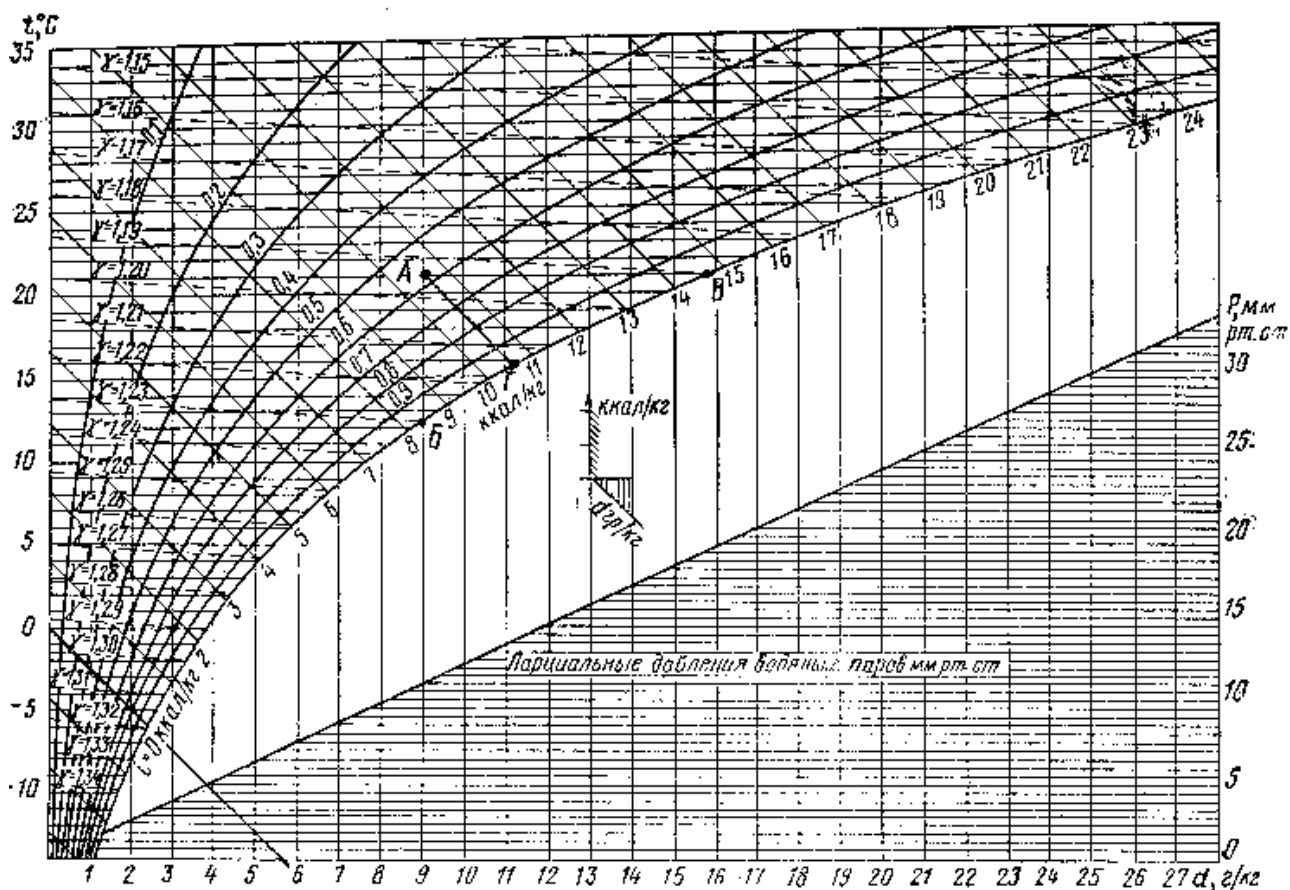


Рисунок 2.1 – I-d діаграма вологого повітря

На осі абсцис відкладені значення вологовмісту d у грамах на кілограм маси сухого повітря; лінії вологовмісту йдуть вертикально, паралельно осі ординат.

По осі ординат відкладені температури повітря t у градусах Цельсія; лінії температур (ізотерми) йдуть під невеликим кутом до осі абсцис.

Відносна вологість повітря зображена кривими, що йдуть зліва направо. Найнижча крива називається межею насичення. Нижче цієї лінії повітря насичене.

Суцільні лінії, що розташовані під кутом близько 45° , показують питомий тепловміст повітря i , кДж/кг.

Діаграма складена для тиску 745 мм рт.ст., який відповідає рівнинній місцевості, що знаходиться трохи вище рівня моря.

Зручність даної діаграми полягає в тім, що будь-які процеси, які проходять у системі охолодження повітря, зображуються прямими лініями. Якщо знати будь-які два параметри вологого повітря, можна знайти всі інші, прочитавши їх на діаграмі без складних математичних розрахунків.

2.3 Вплив параметрів повітря на організм людини

Організм людини в результаті своєї життєдіяльності постійно виробляє деяку кількість тепла i , з метою підтримки постійної температури тіла, віддає його навколишньому середовищу у вигляді сухого (конвекцією і тепловипромінюванням) і вологого (із подихом і шляхом випаровування поту) тепла.

Здатність людини регулювати теплообмін із навколишнім середовищем називається терморегуляцією організму. Нормальна терморегуляція організму може здійснюватися у відносно вузьких межах параметрів навколишнього повітря.

Кількість тепла, яка виділяється людиною, залежить від характеру її діяльності, одягу, віку, індивідуальних особливостей і параметрів навколишнього повітря.

При температурі навколишнього повітря в межах $18 \div 32^\circ\text{C}$ загальна кількість тепла, що виділяється організмом кожної людини $q_{\text{заг}}$, при даному роді діяльності й виду одягу залишається приблизно постійною. Характер тепловіддачі залежить, у першу чергу, від температури навколишнього повітря. При зниженні температури навколишнього середовища через збільшення різниці перепаду між температурою тіла і температурою повітря

тепловіддача сухим теплом за рахунок конвекції й тепловипромінювання збільшується. При цьому діяльність потових залоз скорочується і тепловіддача вологим теплом зменшується. При підвищенні температури повітря зменшується перепад між температурами тіла і повітря й тепловіддача сухим теплом знижується, але активізується діяльність потових залоз і збільшується тепловіддача вологим теплом.

Найбільший вплив на організм людини має температура. При невеликому зниженні температури за межі зони комфорту терморегуляція організму ще справляється з вирівнюванням кількості тепла, що втрачається, і тепла, що виробляється. Але при цьому людина відчуває холод. При подальшому зниженні температури навколишнього середовища організм починає втрачати тепло у кількості, яка перевищує його можливості виробляти тепло. Людина починає переохолоджуватися понад норму, що може привести до простудних захворювань.

Другим за значенням фактором, що впливає на терморегуляцію організму, є вологість повітря. Зі зниженням відносної вологості повітря збільшується тепловіддача за рахунок випаровування з поверхні шкіри, а також з поверхні слизової оболонки рота, носа й бронхів. Якщо відносна вологість менш 30 %, то шкіра відкритих рук і носоглотка пересихає. Унаслідок цього самопочуття людини помітно погіршується. При підвищенні відносної вологості випаровування поту зменшується та при $\phi=90\%$ і вище практично припиняється, внаслідок чого у людини утрудняється подих.

Крім температури і відносної вологості, на самопочуття і терморегуляцію людини впливає швидкість руху повітря й температура навколишніх предметів.

Відсутність рухомості повітря погіршує умови теплообміну, як у частині сухого, так і особливо вологого тепла. Разом із тим велика швидкість руху повітря (понад 0,3 м/с) при температурах 22÷25 °С порушує комфорт.

Слід зазначити, що при температурі зовнішнього повітря понад 35 °С доцільно підвищувати температуру повітря у вагоні таким чином, щоб перепад температур зовні та всередині вагона складав приблизно 10÷12 °С. При більш високому перепаді температур пасажири, що входять у вагон, будуть відчувати

тимчасове переохолодження, тому що терморегуляція організму буде запізнюватися. Це може викликати простудні захворювання.

На підставі наукових досліджень встановлені основні вимоги до параметрів повітря. Основні з них затверджені відповідними державними стандартами:

- температура повітря влітку $22 \div 26$ °С (розрахункова 24 °С);
- температура повітря взимку $18 \div 22$ °С (розрахункова 20 °С);
- нерівномірність температур повітря, що допускається, по довжині вагона на одному рівні і по висоті вагона на одній вертикалі не більш 30 °С;
- відносна вологість повітря $30 \div 60$ %;
- максимальна різниця між температурою повітря у вагоні і температурою внутрішніх огорожень не більш 5 °С;
- мінімальна кількість зовнішнього повітря, що подається у вагон на один пасажир: влітку - $25 \text{ м}^3/\text{год}$; узимку - $20 \text{ м}^3/\text{год}$;
- максимальна швидкість руху повітря в зоні перебування пасажирів $0,25 \text{ м/с}$;
- максимальний вміст пилу 1 мг/м^3 .

Лекція 3

ТЕПЛОТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КУЗОВА ВАГОНА

3.1 Основні теплоізоляційні матеріали та вимоги до них

Чим краще побудований будинок, тобто товстіші стіни, підлога і стеля, краще матеріал і щільніші вікна й двері, а говорячи технічною мовою, чим краще теплотехнічні якості огорожень будинку, тим легше його нагріти узимку і тим прохолодніше в ньому буде влітку. Це стосується й вагонів. Однак при будівлі вагонів не можна йти по шляху збільшення товщини стін, підлоги й стелі, тому що вони будуть важкі і зменшать корисний об'єм вагона. Теплоізоляційний матеріал повинен забезпечити одночасно міцність, легкість, довговічність і по можливості невисоку вартість. Крім того, необхідно

передбачити вологоізоляцію і захист від корозії, захист від поширення вібрацій і проникнення шуму, а також зручність і простоту монтажу і ремонту як самих огорожень, так і устаткування кузова.

Конструкція огороження вагона являє собою багатошарову стінку. Найбільш простою стінкою є вікно: два скла і повітряний прошарок між ними. Місця в огороженні, через які проходить підвищена кількість тепла, називаються тепловими містками.

Як теплоізоляційні матеріали раніше застосовувалися вовняна чи мінеральна повсть, вовна, пробка, скляна вата та інші матеріали. Приблизно з 1950 року у вагонобудуванні використовують різні пінопласти.

Останні являють собою спінені пластичні маси, які можна виготовити з усіх відомих полімерів. Вони являють собою застиглу піну з великою кількістю відкритих чи закритих (замкнених) пір, заповнених повітрям або яким-небудь іншим газом, завдяки чому вони мають малу щільність і низьку теплопровідність.

В залежності від призначення пінопластам можуть бути додані необхідні якості: особливо низька теплопровідність, механічна міцність, звукоізоляційні чи звукопоглинаючі властивості, підвищена адгезія, стійкість проти агресивних середовищ.

Пінопласти можуть бути твердими, напівтвердими та еластичними.

Вироби з пінопластів можна одержувати двома способами: напилювання і заливання.

Напилювання – це найбільш зручний, економічний і продуктивний спосіб нанесення теплоізоляції на поверхню виробів.

Способом заливання можна одержувати блоки і плити, з яких потім вирізують прості деталі теплоізоляції, а також формовані готові деталі практично будь-якої конфігурації. Цим же способом виготовляють цілком готові елементи огорожень стін, у яких теплоізоляція міцно пов'язана з зовнішнім і внутрішнім обшиваннями.

Як теплоізоляційні матеріали для кузовів вагонів рекомендується використовувати такі види пінопластів: пінополіуретани, пінополістироли, спінені пінопласти.

Пінополіуретани утворюються на основі гідроксилостітких поліефірів (алкідних смол) і являють собою мілководчашечкові матеріали із закритими порами білого, жовтуватого або жовтувато-зеленуватого кольору. Вони - самозагасаючі (загасають після виносу з полум'я протягом 15 с). При експлуатації не виділяють шкідливих речовин.

Пінополістироли виготовляються на основі полістиролу і порофору. Вони мають білий або грязно-білий кольори та рівномірну структуру закритого типу. Володіють достатньою механічною міцністю й стійкістю проти кислот і лугів. Загасають після виносу з полум'я протягом не більш 5 секунд.

Спінені фенопласти виготовляються на основі феноформальдегідних смол. Це тверді пінопласти кольору від рожевого до коричневого з міцною поверхнею, що є достатнім захистом від зволоження. Фенопласти відрізняються підвищеною тепло- і вогнестійкістю і мають високу стійкість до всіх технічних продуктів.

Міпора виготовляється з мочевино-фенолформальдегідних полімерів. Вона дуже нестійка проти зволоження, неміцна та в процесі експлуатації спочатку всідається, а потім і руйнується внаслідок вібрації й тряски. У зв'язку з цим теплотехнічні якості кузова поступово погіршуються - середній коефіцієнт теплопередачі огорожень за 12÷16 років збільшується на 20÷30 %, а іноді й на 40 % від первісного значення. Вологопоглинання міпори сприяє також прискоренню корозії металевих елементів кузова.

3.2 Коефіцієнт теплопередачі огорожень

Здатність конструкції перешкоджати проходженню тепла називається опором теплопередачі, причому цей опір складається з термічного опору кожного шару та опорів тепловіддачі на поверхнях конструкції. Термічний опір багатошарової

конструкції являє собою суму термічних опорів усіх шарів товщиною δ_i :

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}. \quad (3.1)$$

У даній формулі λ (коефіцієнт теплопровідності) - це кількість тепла, що проходить через перетин однорідного матеріалу в одиницю поверхні за одиницю часу при градієнті температур у 1°C $\text{Вт}/(\text{м}\times\text{К})$.

Основним показником теплотехнічних якостей кузова вагона є коефіцієнт теплопередачі його огорожень.

Коефіцієнт теплопередачі характеризується кількістю тепла, що проходить в одиницю часу, через 1 м^2 площі огорожень при перепаді температур по її сторонах у 1°C . Він має розмірність $\text{кДж} / \text{м}^2\times\text{К}\times\text{год}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2\times\text{К})$ і позначається буквою K .

Коефіцієнт теплопередачі можна визначити за такою формулою

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}}. \quad (3.2)$$

У цій формулі $\alpha_{\text{зов}}$, $\alpha_{\text{в}}$ - це коефіцієнти тепловіддачі відповідно від зовнішнього повітря зовнішній стінці і від повітря всередині вагона до внутрішньої стінки, а λ_i - це коефіцієнт теплопровідності.

Коефіцієнт тепловіддачі являє собою кількість теплоти, передану від теплоносія до одиниці поверхні стінки за одиницю часу при різниці температур рідкого теплоносія і поверхні стінки в 1°C $\text{кДж} / \text{м}^2\times\text{К}\times\text{год}$, $(\text{Вт}/\text{м}^2\times\text{К})$.

Величина $\alpha_{\text{зов}}$ залежить від швидкості і характеру руху повітряного потоку, що обдуває зовнішню поверхню. Чим більше швидкість, тим більше маса повітря, що вступає в теплообмін з поверхнею стін і, тим більше значення $\alpha_{\text{зов}}$. Характер потоку - спокійний (ламінальний), при якому струмені повітря рівнобіжні, або із завихреннями (турбулентний) - залежить від його кута в

напрямку до поверхні, що обдувається, від характеру самої поверхні і її площі. При більшому куті напрямку потоку і при нерівній (шорсткуватій з виступаючими частинами) поверхні утворюються завихрення, велика частина повітря входить у зіткнення з поверхнею і значення $\alpha_{зов}$ збільшується. Якщо поверхня рівна, то чим більше її площа (точніше, довжина в напрямку потоку), тим спокійніше характер потоку і менше значення $\alpha_{зов}$.

Для вагонів напрямок потоку повітря і поверхні, що обдувається, часто збігається, або трапляється так, що потік знаходиться під невеликим кутом до більшої частини поверхні – бокових стін, даху і підлоги. Конфігурація і характер пасажирських і ізоtermічних вагонів, для яких визначаються значення коефіцієнта K_T , приблизно однакові, тому для визначення значення $\alpha_{зов}$ можна скористатися емпіричною формулою, у якій змінними величинами є лише швидкість руху вагона і його довжина:

$$\alpha_{зов} = 15 + \frac{3 \cdot v}{l^{0.2}}, \quad (3.3)$$

де v - швидкість руху потяга, м/с;
 l - довжина кузова, м.

Величина $\alpha_в$ залежить від тих же показників і параметрів, що і $\alpha_{зов}$. Але швидкості руху повітря всередині вагона значно менше швидкостей атмосферного повітря, а конвективні швидкості в результаті теплообміну між внутрішніми поверхнями і повітрям у вагоні сильно гальмуються внутрішнім устаткуванням. Тому величина $\alpha_в$ менше величини $\alpha_{зов}$ навіть у вагоні, що не рухається. Для всіх пасажирських вагонів слід приймати $\alpha_в = 10 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$.

При розрахунках величини K_T передбачається, що тепло спрямоване перпендикулярно площині стінки. Це цілком справедливо для однорідних стінок. У стінках із неоднорідною ізоляцією напрямок теплового потоку більш складний. Це утрудняє одержання точних результатів теплових розрахунків. Тому для спрощених розрахунків використовується така формула:

$$\bar{K}_T = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \times F_i}{\sum_{i=1}^n F_i}. \quad (3.4)$$

3.3 Теплові впливи на пасажирський вагон

Розрахунок теплонадходжень у вагон у літню пору проводиться для визначення необхідної продуктивності системи охолодження.

Тепло надходить у вагон літом:

- через огороження кузова внаслідок перепаду температур повітря зовні та всередині вагона;
- внаслідок інфільтрації повітря;
- від сонячної радіації;
- тепловиділення від пасажирів;
- тепловиділення від роботи встановленого у вагоні устаткування.

Теплонадходження через огороження визначається за формулою

$$Q_1 = F \times K \times (t_{308} - t_8), \quad (3.5)$$

де t_{308} – температура повітря зовні вагона;
 t_8 – температура повітря всередині вагона.

Теплонадходження від інфільтрації повітря залежать від перепаду між температурами повітря усередині і зовні вагона й частоти відкривання дверей. Інфільтрація через невеликі нещільності огорожень не враховується, тому що при працюючій системі вентиляції й підпору повітря, що утвориться при цьому, зовнішнє повітря через ці нещільності майже не проходить.

Для літнього часу, коли пасажирів досить часто виходять на станціях, теплонадходження з інфільтраційним повітрям можна визначити:

$$Q_2 = 0,3 \times Q_1. \quad (3.6)$$

Теплонадходження від сонячної радіації через непрозорі огороження прямо пропорційні інтенсивності сонячної радіації I , коефіцієнту тепловбирання поверхні, що опромінюється, K та площі огороження F і обернено пропорційні коефіцієнту тепловіддачі від зовнішньої поверхні огороження зовнішньому повітрю.

Розрахунок теплонадходжень від сонячної радіації через непрозорі огороження виконується за формулою

$$Q_3 = \frac{I \times A \times K \times F}{\alpha_{\text{зов}}}. \quad (3.7)$$

Розрахункова формула теплонадходжень від сонячної радіації через вікна має вигляд

$$Q_3 = I \times K_{\text{пр}} \times F, \quad (3.8)$$

де $K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт пропускання сонячних променів. Він залежить від ступеня зашклення вікна, наявності штор та міри забруднення скла.

Коефіцієнт тепловбирання поверхні, що опромінюється, залежить від роду матеріалу, кольору і стану поверхні. Для металевих порівняно гладких поверхонь значення A приймають у залежності від кольору фарбування: білого - $0,2 \div 0,4$; сірого і темно-сірого - $0,4 \div 0,5$; зеленого, коричневого і червоного $0,5 \div 0,7$; синього - $0,7 \div 0,8$; темно-синього і чорного - $0,8 \div 0,9$.

Теплова енергія сонячної радіації, що досягає земної поверхні, вноситься головним чином променями видимої та інфрачервоної області спектра. Основним поглиначем ультрафіолетових променів є озон. Пил, що міститься в атмосфері, викликає сильне поглинання променів короткохвильової частини спектра від ультрафіолетових до синіх. Інфрачервона радіація з довжинами хвиль від $0,9$ до 3 мкм помітно поглинається парами води, що знаходяться в повітрі.

Спектральний склад сонячної радіації, що досягає земної поверхні, залежить від висоти сонця над обрієм. Чим вище сонце, тим меншу товщу атмосфери проходить сонячна радіація.

Інтенсивність сонячної радіації залежить також від географічної широти місцевості, пори року, години дня. Крім того, вона набуває різних значень для горизонтальних (дах) і вертикальних (вікна і стіни) поверхонь.

Повний вплив сонячної радіації складається з прямого опромінення Сонцем (пряма сонячна радіація) і опромінення з боку атмосфери, що розсіює сонячні промені (розсіяна сонячна радіація).

Інтенсивність прямої сонячної радіації, Вт/м², на поверхню, перпендикулярну до напрямку променів, можна визначити за такою формулою:

$$I_n = 1360 \frac{\sinh}{\sinh + \frac{1-\rho}{\rho}}, \quad (3.9)$$

де 1360 – сонячна стала;

h - висота Сонця, град або рад;

ρ- коефіцієнт прозорості атмосфери, що змінюється в межах від 0,7 до 0,8.

Висота Сонця h обчислюється за формулою

$$\sin h = \sin \varphi \times \sin \delta + \cos \varphi \times \cos \delta \times \cos \gamma, \quad (3.10)$$

де φ - географічна широта;

δ - схилення Сонця; 22 червня воно складатиме 23,4°, а 22 липня – приблизно 20°;

γ - годинний кут.

Оскільки 1 годині відповідає поворот Землі навколо осі на $\frac{2\pi}{24}$ рад (15°), то $\gamma = \frac{2\pi}{24} \tau_1$ рад, або $\gamma = 15\tau_1$ град, де τ₁ – місцевий час в годинах, який відлічується після півдня.

Інтенсивність прямої сонячної радіації на горизонтальних і вертикальних поверхнях плоских конструкцій огороження, до яких можуть бути віднесені дахи і стіни вагонів, виражається відповідно формулами

$$I_{\text{dax}}^{np} = I^{np} \times \sinh, \quad (3.11)$$

$$I_{cm}^{np} = I^{np} \times \cosh \times \sin|\alpha - x|, \quad (3.12)$$

де α - це азимут Сонця;
 x - кут, що визначає положення вертикальної поверхні відносно меридіана.

$$\sin\alpha = \frac{\cos\delta \times \sin\gamma}{\cosh}. \quad (3.13)$$

Для визначення інтенсивності повної сонячної радіації необхідно скласти інтенсивності прямої і розсіяної радіації. Інтенсивність розсіяної сонячної радіації, що діє на горизонтальну поверхню, можна визначити за формулою

$$I_{\text{dax}}^p = 71 - 56 \times e^{-0,026h}, \text{ Вт/м}^2. \quad (3.14)$$

Інтенсивність розсіяної сонячної радіації, що діє на вертикальну поверхню, приймається рівній половині інтенсивності розсіяної сонячної радіації, що діє на горизонтальну поверхню.

$$I_{cm}^p = 0,5 \times I_{\text{dax}}^p. \quad (3.15)$$

Теплонадходження від сонячної радіації обчислюються лише для частини огорожень, які опромінюються прямими сонячними променями, оскільки величина теплонадходжень із тіньової сторони відносно невелика. Не приймаються в розрахунок і торцеві стіни, які не сполучаються безпосередньо з пасажирським приміщенням.

Теплонадходження від встановленого у вагоні устаткування Q_4 дорівнюють сумарній потужності електроспоживачів, що постійно працюють. Вона не перевищує 2 кВт.

Тепловиділення пасажирів визначаються за емпіричною формулою

$$Q_4 = q \times n = q \times (186 - 4,65t_B), \quad (3.16)$$

де n - кількість пасажирів у вагоні;

q - сумарне (сухе і вологе) тепло, що виділяється одним пасажиром, Вт.

Крім тепла, людина в процесі життєдіяльності виділяє також водяну пару. Кількість останньої, що виділяється при температурі повітря у вагоні від 20 до 40 °С, обчислюється за формулою

$$p_{\text{л}} = n \times (0,0076t_B - 0,12) \text{ кг/год.} \quad (3.17)$$

3.4 Особливості розрахунку теплових впливів на рефрижераторний вагон

При розрахунку теплонадходжень у рефрижераторні вагони, крім зазначених вище факторів, необхідно враховувати також, що біологічно активні вантажі (свіжі овочі та фрукти) виділяють тепло. Кількість останнього можна обчислити за формулою

$$Q = V_{\text{ван}} \cdot \rho_{\text{ван}} \cdot q_{\text{ван}} \cdot (1 - \varphi), \quad (3.18)$$

де $\rho_{\text{ван}}$ – густина завантаження, кг/м³. Вона залежить від особливостей вантажу та його упаковки. Для попередніх розрахунків рекомендується приймати $\rho_{\text{ван}}=280$ кг/м³;

φ – частина упаковки в загальній масі вантажу. Вона також залежить від особливостей вантажу та його упаковки. Рекомендується приймати $\varphi=0,15$;

$q_{\text{ван}}$ – біологічне тепло, Вт/кг. Рекомендується приймати $q_{\text{ван}}=0,1$ Вт/кг;

$V_{\text{ван}}$ - об'єм вантажу, який залежить від висоти завантаження плодовоовочів.

Значна частина вантажів завантажуються у вантажне приміщення рефрижераторних вагонів в неохоложеному стані. Це вимагає значних витрат потужності холодильних машин на доведення вантажу для стану перевезення. Кількість тепла, яке в

цьому випадку повинно відводитися від вантажу, обчислюється за формулою

$$Q = \frac{V_{\text{ван}} \cdot \rho_{\text{ван}} [C_{\text{ван}} \cdot (1 - \varphi) + C_m \cdot \varphi] \cdot (t_{\text{зов}} - t_{\text{в}})}{3,6\tau}, \quad (3.19)$$

де $C_{\text{ван}}$ – питома теплоємність вантажу (нетто);

C_m – питома теплоємність упаковки (тари);

τ - тривалість охолодження. Вона знаходиться в межах від 60 до 72 годин.

З поверхні повітроохолоджувача необхідно знімати іній. Для цього теж необхідно у вантажне приміщення підводити тепло. Його можна підрахувати так:

$$Q = m \times n \times W, \quad (3.20)$$

де m – кількість холодильних машин у вагоні;

n – кількість відтавань на добу;

W – кількість тепла, що надходить у вагон при кожному відтаванні.

Циркуляція повітря у вантажному приміщенні вагона здійснюється вентиляторами, електродвигуни яких виділяють певну кількість тепла:

$$Q = N \times n \times \psi, \quad (3.21)$$

де N – потужність, що споживається електродвигунами;

n – кількість вентиляторів у вагоні;

ψ – коефіцієнт, що враховує тривалість роботи вентиляторів на добу.

Лекція 4

ВЕНТИЛЯЦІЯ ПОВІТРЯ У ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНАХ

4.1 Призначення і види вентиляції

Вентиляція повітря в пасажирському вагоні – це процес заміни збідненого киснем і непридатного для подальшого перебування людини повітря свіжим, збагаченим киснем повітрям, взятим, як правило, з навколишньої атмосфери.

Розрізняють два способи вентиляції пасажирського приміщення вагона: природний і механічний. При природній вентиляції для повітрообміну не вимагаються витрати енергії на привід яких-небудь вентиляційних пристроїв. При механічній - повітрообмін здійснюється за допомогою спеціальних механізмів, на привід яких необхідна постійна витрата електроенергії. В системі кондиціонування вентиляційна установка повинна подавати у вагон необхідну кількість повітря, попередньо очищеного від пилу, підігрітого чи охолодженого з дотриманням необхідних швидкостей повітря у повітропроводі.

Природна вентиляція здійснюється через відкриті вікна і двері вагона.

Перевагами цього способу вважають відсутність додаткових пристроїв і високу продуктивність. Недоліками є неможливість автоматизувати процес регулювання припливу свіжого повітря, а також відсутність можливості термічно обробити свіже повітря, що надходить у вагон.

Крім того, при природній вентиляції атмосферне повітря не фільтрується і його потоку не може бути наданий спрямований рух, що виключає протяги.

Однак, з огляду на простоту цього способу вентилявання, від нього не відмовилися зовсім і на доповнення до вентилявання через вікна і двері на даху вагона монтуються спеціальні пристрої – дефлектори, що забезпечують відсмоктування відпрацьованого повітря з пасажирського приміщення в атмосферу. Відбувається це в основному при русі вагона, коли його обдуває повітряний потік та за рахунок ефекту ежекції створює в порожнині ежектора розрідження.

Перевагами дефлектора є простота конструкції, відсутність частин, що спрацьовуються, відсутність необхідності в приводі, можливість застосування в будь-яку пору року. Основним недоліком є низька продуктивність.

На більшості суцільнометалевих пасажирських вагонів встановлені дефлектори Чеснокова або уніфіковані дефлектори

"ЦАГИ-ЦНИИ". Вони складаються з двох з'єднаних половин: верхньої і нижньої. До вентиляційної труби, що проходить через дах і її ізоляцію, дефлектор кріпиться за допомогою конічної насадки. Унизу вентиляційна труба закінчується заслінкою з ручкою. Циліндрична частина труби покрита ізоляцією з пінополістиролу. Потік повітря, обтікаючи циліндричний пояс дефлектора, мовби зривається з його країв, створюючи усередині дефлектора безповітряні мішки. Завдяки цьому розрідженню повітря відсмоктується через мультивену в трубу і виходить назовні (рисунок 4.1).

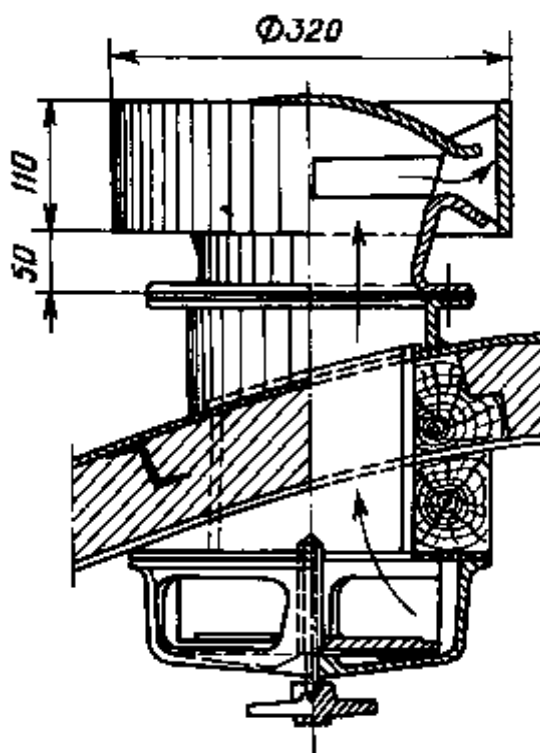


Рисунок 4.1 – Уніфікований дефлектор "ЦАГИ-ЦНИИ"

Тільки природна вентиляція не забезпечує необхідних санітарно-гігієнічних умов, тому в сучасних вагонах використовується механічна припливна вентиляція, а природна вентиляція використовується на сучасних пасажирських вагонах лише як додаткова.

Механічна вентиляція може бути припливною, витяжною чи припливно-витяжною. Крім того, розрізняють механічну вентиляцію з рециркуляцією і без рециркуляції повітря.

Припливна вентиляція забезпечує подачу свіжого повітря у вагон за допомогою якого-небудь механізму, а видалення здійснюється природним шляхом без витрати енергії (у більшості випадків через дефлектори, а також відкриті вікна, двері і нещільності кузова).

Якщо вагон обладнаний витяжною вентиляцією, то збіднене киснем повітря з пасажирського приміщення видаляється за допомогою механізму, а свіже підсмоктується через відкриті вікна, двері, нещільності кузова чи спеціальні пристрої з фільтрами.

Припливно-витяжна вентиляція характеризується подачею свіжого повітря і видаленням із приміщення відпрацьованого за допомогою одного чи декількох спеціальних механізмів.

Рециркуляція - це повернення повітря в усмоктувальний бік системи для повторного використання. Рециркуляція повітря дозволяє застосувати для його охолодження холодильну машину меншої потужності, більш компактну, із меншою масою і малою витратою електроенергії.

У вагонах з неповним кондиціонуванням повітря рециркуляція, як правило, не застосовується.

Вентиляція пасажирського вагона забезпечує:

- багаторазовий обмін повітря, завдяки чому у вагоні міститься необхідна кількість кисню і не підвищується понад установлену норму зміст вуглекислого газу, бактерій і пилу, що утворюються в результаті перебування в приміщенні пасажирів;
- рух повітря в місці перебування пасажирів;
- усередині вагона тиск повітря, що перевищує атмосферний, перешкоджаючи тим самим просочуванню ззовні крізь нещільності кузова пилу і неопрацьованого повітря (ненагрітого взимку і неохолодженого влітку). Це поліпшує теплотехнічні якості вагона;
- охолодження повітря всередині вагона разом із працюючою холодильною машиною установки кондиціонування повітря;

- обігрів повітря за допомогою водяного чи енергетичного калорифера разом із системою опалення вагона.

Система припливної вентиляції повітря під час рейсу з пасажирями повинна бути постійно включена, за винятком випадків проходження поїзда з тепловозною тягою через тунель, щоб уникнути засмоктування у вагон диму і вихлопних газів.

Система вентиляції повинна бути розрахована на безупинну роботу. У холодний час року при роботі системи опалення свіже повітря повинне підігріватися, щоб у пасажирському приміщенні забезпечувалася температура не нижче 18 °С. Кількість зовнішнього повітря, що подається у вагон на одну людину, віднесена до нормальних умов (20 °С), повинна бути не менш 25 м³/год у літню пору і 20 м³/год взимку. Швидкість руху повітря в місцях перебування пасажирів не повинна перевищувати 0,20 м/с, а при роботі холодильної установки в літню пору – 0,25 м/с. Підпір повітря всередині вагона при роботі системи вентиляції і закритих вікнах, дверях і дефлекторах повинний бути не менш 3 мм рт. ст. при швидкості руху до 120 км/год і залишатися позитивним при швидкості руху до 160 км/год.

4.2 Основні елементи системи вентиляції

Система механічної припливної вентиляції з рециркуляцією повітря працює в такий спосіб (рисунок 4.2).

Свіже повітря через забірні ґрати 1, регулювальні заслінки і фільтри 2 засмоктується повітродувкою 3 вентиляційного агрегату і для охолодження влітку через дифузор 4 подається у повітря через охолоджувач 5. Для підігріву повітря в зимовий час року призначений водяний калорифер 6. Далі повітря по конфузору 7 переходить у нагнітальний повітропровід 8 і крізь вентиляційні ґрати 9, змонтовані на стелі, подається в пасажирські купе.

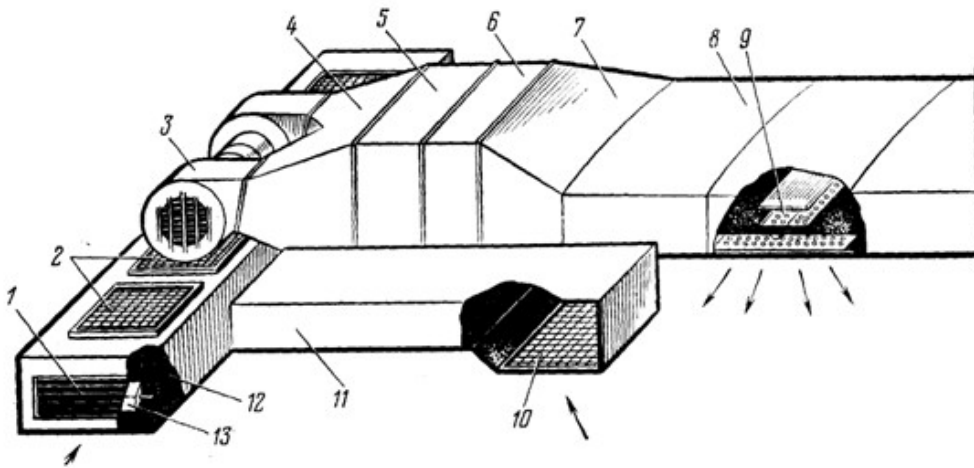


Рисунок 4.2 – Установка системи вентиляції вагона з кондиціонуванням повітря

Далі рециркуляційне повітря крізь ґрати 10 надходить у зворотний повітропровід 11 та камеру змішування повітря 12. Для регулювання кількості рециркуляційного та зовнішнього повітря використовуються спеціальні заслінки 13.

Для демонтажу вентиляційного агрегату у випадку ремонту в даху вагона зроблені люки. Контроль за температурою повітря здійснюється за допомогою дистанційного термометра.

Всмоктувальні вікна всіх пасажирських вагонів розташовані на нижній частині даху (звиси) чи причілку тамбура. Зовні вікно закрито нерегульованими забірними жалюзійними ґратами. Безпосередньо за всмоктувальними вікнами встановлені дві прямокутні заслінки, що перекривають канал зовнішнього повітря у випадку консервації системи вентиляції. Обидві заслінки працюють від підйомного привода.

Повітря, що подається у вагон, повинно бути очищено від механічних домішок, які забруднюють пасажирське приміщення і шкідливі для дихальних шляхів людини. Для очищення повітря використовуються механічні фільтри, що повинні володіти максимальною пилозатримуючою здатністю і найбільшим коефіцієнтом очищення; мінімальним опором повітрю; малою вагою і компактністю конструкції; безпекою в пожежному відношенні; мінімальними витратами на утримання, ремонт і технічне обслуговування; зручностями при їхній заміні й очищенні; можливістю виготовлення з недефіцитних матеріалів.

Очищення повітря здійснюється у вагонних фільтрах за допомогою каналів з поперечним перерізом, меншим розміру часток пилу, що знаходяться в повітрі, у результаті чого ці частки пилу будуть затримуватися; застосуванням фільтруючих матеріалів, змочених олією, до якої прилипають частки пилу, що проходять разом з повітрям по звивистих каналах і намагаються зберегти прямолінійний рух по інерції.

Фільтр характеризується відношенням кількості затриманого пилу і пилу, що міститься в повітрі перед фільтром. Це відношення називається коефіцієнтом очищення. Він повинний складати не менш 95 %. Для більш повної характеристики фільтра враховується його пилоємність. Вона являє собою вагу твердих часток, затриманих на покритих олією поверхнях фільтра до його повного забруднення. Пилоємність сітчастого фільтра складає 500-600 г.

Вагонні сітчасті фільтри мають стандартні розміри 500×500×57 мм, але різниця в конструкції не дозволяє нехтувати ними в експлуатації.

Внутрішня частина фільтра вагонів виробництва Німеччини являє собою пакет з 11 гофрованих сталевих аркушів з перфорацією.

Фільтри некупейних вагонів також складаються з коробки у вигляді корпуса, в якому одна на іншу під кутом 90° покладені три гофровані сітки з осередками 2,5×0,5 мм, чотири сітки з осередками 1,2×0,35 мм, а також чотири сітки з осередками 0,63×0,25 мм і рамка із сіткою.

Фільтри всіх типів мають приблизно однакову пропускну здатність – 1250 м³/год повітря і розрахунковий опір минаючому повітряному потоку – 3,6 кг/м².

Головним механічним вузлом системи вентиляції вагона є вентиляційний агрегат, підвішений на кронштейнах над тамбуром з котлової сторони вагона між дахом і стелею. Агрегат складається з двох відцентрових вентиляторів, робочі колеса яких змонтовані на одному валу приводного електродвигуна постійного струму.

Вентиляційний агрегат вагона типу 47Д складається зі звареної рами, на якій встановлені два равликоподібних кожухи з вбудованими вентиляційними колесами. На рамі розташований:

- повітроохолоджувач для охолодження повітря влітку;
- водяний калорифер системи опалення, в якому в холодний час року підігрівається свіже повітря, що продувається вентиляторами;
- електричний калорифер для підігріву повітря у перехідні пори року.

Рівномірному розподілу холодного повітря на вході в калорифер сприяє дифузор. З'єднання вентиляторів і дифузора виконано гнучким у вигляді брезентового рукава. Рукава дозволяють уникнути передачі вібрацій калориферу і гасять резонанс від шуму працюючих вентиляторів.

Нагнітальний повітропровід є своєрідним каналом, по якому свіже повітря транспортується уздовж вагона для роздачі по купе. Його довжина складає близько 18 м.

Для забезпечення пожежної безпеки повітропровід, дифузори, компенсаційні вставки виконуються з непального матеріалу.

Повітропровід монтується між дахом і підвісною стелею. Він складається з окремих телескопічно з'єднаних між собою ланок, виготовлених з оцинкованих листів. Місця стику ланок ущільнені повстяними чи гумовими прокладками. Поперечний переріз нагнітальних повітропроводів найчастіше має форму прямокутника з верхньою дугоподібною твірною, яка збігається з формою даху. У нижній частині повітропроводу зроблені випуски, що розводять свіже повітря по купе. Конструкція випусків залежить від типу вагона. На вагонах типу 47Д випуск має форму конуса з безліччю розташованих у шаховому порядку отворів діаметром 3 мм.

На вагонах типу 47К і “Мікст” повітря надходить у купе крізь мультивену. Мультивена виготовлена з металевого листа з отворами діаметром 5 мм і займає більшу частину стелі. Свіже повітря, проходячи крізь це своєрідне сито, безшумно широким потоком розтікається по усьому купе, не викликаючи в пасажирів відчуття протягу.

З купе відпрацьоване повітря крізь вентиляційні щілини в нижній частині купейних дверей виходить у коридор, а потім у вагонах з кондиціонуванням повітря частково викидається назовні, а частково регенерується.

У вагонах із примусовою вентиляцією відпрацьоване повітря з вагона видаляється через дефлектори, установлені над купейною чи коридорною частиною кузова.

У вагоні типу 61-425 над тамбуром з некотлового боку встановлений додатковий дефлектор. При експлуатації цього вагона влітку дефлектори в туалетах і купе повинні бути відкриті, а узимку напіввідчинені, тамбурний дефлектор повинний бути завжди відкритий. У цьому вагоні як випуск застосовуються штамповані вентиляційні ґрати з алюмінієвого листа.

Повітропроводи пасажирських вагонів, які побудовані до 1982 року, обладнані протипожежними заслінками, що покликані перепинити шлях вогню по повітряному каналу.

4.3 Особливості систем з рециркуляцією повітря

Якщо у вагон подавати тільки зовнішнє повітря, а не суміш зовнішнього і рециркуляційного, то загальна холодопродуктивність холодильної установки вагонного кондиціонера склала б не 25÷30 кВт, а більш 70 кВт.

Реалізувати таку холодопродуктивність можна було б, застосувавши величезну за габаритними розмірами холодильну установку, яку не можна було б розмістити у вагоні та не вдалося б забезпечити постачання її електроенергією.

Однак використання рециркуляційного повітря має і негативний бік, оскільки у вагон подається збіднене киснем повітря. При цьому кількість використовуваного рециркуляційного повітря повинна бути якнайменшою. Прийнято, що поєднання об'ємів рециркуляційного і свіжого повітря не повинне перевищувати співвідношення 3:1.

При використанні рециркуляційного повітря ускладнюється система вентиляції, оскільки з'являються додаткові пристрої: додатковий рециркуляційний повітропровід, камера змішування повітря, додаткові фільтри, пристрої для регулювання заданої кількості співвідношень зовнішнього та повторно використовуваного повітря. Інші елементи системи, як правило, залишаються принципово, а часто і конструктивно, такими ж. Потужність електродвигуна вентилятора через більший аеродинамічний опір трохи збільшується.

В системі вентиляції з рециркуляцією повітря ґрати відсмоктування і зворотний повітропровід рециркуляційного повітря встановлюються, як правило, на підшивній стелі наприкінці великого коридору з котлового боку. Для відсмоктування відпрацьованого повітря в купе є ґрати. Для регулювання кількості свіжого повітря, що забирається з вулиці, після жалюзі змонтована спеціальна заслінка. Зовнішнє і рециркуляційне повітря попередньо змішуються в камері змішування, очищуються в єдиній системі з чотирьох фільтрів і остаточно змішуються при всмоктуванні вентиляторів та в процесі проходження через повітроохолоджувач і калорифер.

Для встановлення необхідного співвідношення кількостей зовнішнього та рециркуляційного повітря користаються заслінками, що розташовані на вході в камеру змішування, - для зовнішнього повітря найчастіше в ґратах його забору, для рециркуляційного повітря - у місці з'єднання зворотного повітропроводу з камерою змішування. Однак з конструктивних причин ці заслінки можуть бути поставлені й в інших місцях.

4.4 Розрахунок систем вентиляції

При проектуванні систем вентиляції пасажирських вагонів розраховують такі основні параметри: продуктивність вентиляторів, швидкість руху повітря, переріз повітропроводів, габаритні розміри повітропроводів, аеродинамічний опір системи.

Продуктивність вентиляторів визначають за розрахунковим числом пасажирів і нормою подачі свіжого повітря на людину відповідно до санітарних норм. При проектуванні вагона з кондиціонуванням повітря загальну продуктивність системи вентиляції визначають виходячи з результатів попереднього розрахунку холодильної.

Швидкість руху повітря у повітропроводі системи вентиляції при заданій продуктивності вентиляторів залежить від площі поперечного перерізу повітропроводу, що у свою чергу пов'язано з умовами розміщення повітропроводу в стиснутому просторі між дахом вагона і підшивною стелею. У нагнітальному повітропроводі на ділянці від службового відділення, щоб скоротити наявність шуму від потоку минаючого повітря,

швидкість руху повітря не повинна перевищувати 7 м/с, а в розрахунках рекомендується приймати 3 – 6 м/с.

Швидкість виходу повітря з мультивени у вагонах з кондиціонуванням приймають, як правило, не вище 0,25 м/с.

Площу поперечного перерізу повітропроводів визначають виходячи з витрати повітря і прийнятої швидкості його руху

$$A = \frac{V}{3600 \cdot \omega}, \quad (4.1)$$

де V і ω - відповідно об'єм і швидкість руху повітря, що проходить через розглянутий переріз.

Габаритні розміри повітропроводів визначають за розрахунковою площею перерізу з урахуванням можливостей їхнього розміщення, особливо в місцях монтажу водяних баків, труб опалення, електропроводки і несучих металоконструкцій кузова вагона. Як правило, переріз нагнітального повітропроводу роблять коробчатым із плоскими нижніми і бічними листами і дугоподібним (за формою даху) верхнім листом.

Аеродинамічний опір системи вентиляції розраховується за методиками і формулами, прийнятими для гідравлічних розрахунків, тому що при незначних змінах тиску, що відбуваються в системі вентиляції, повітря поводитьсь аналогічно рідині.

Повний опір всмоктувального і нагнітального повітропроводів складається з опорів їхньої прямолінійної частини і місцевих опорів.

При розрахунку втрат тиску в мережі втрати розділяють на подолання опору тертя $H_{тр}$ у прямолінійній частині і від місцевих опорів $H_{м}$.

Втрати тиску на подолання тертя визначають тільки для прямих ділянок трубопроводів. Ці втрати є і на інших ділянках незалежно від наявності поворотів, звужень чи розширень, але тоді вони враховуються одночасно з утратами тиску в місцевих опорах за іншою методикою.

Втрати тиску на подолання тертя

$$H_{mp} = l \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2g}, \quad (4.2)$$

де l - довжина повітропроводу, м;
 λ - коефіцієнт опору тертю;
 ρ - густина повітря, кг/м³;
 d - діаметр повітропроводу, м.

В системах вентиляції вагонів круглі повітропроводи не застосовують, тому при визначенні втрат тиску на тертя необхідно знайти еквівалентний діаметр. Розрахунок діаметра, еквівалентного повітропроводу прямокутного перерізу зі сторонами a і b ведеться за формулою

$$d_{\text{екв}} = \frac{2ab}{a+b}. \quad (4.3)$$

Втрати тиску в місцевих опорах

$$H_m = \sum \zeta \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2g}, \quad (4.4)$$

де ζ – коефіцієнт місцевого опору, який знаходиться за таблицями довідкової літератури.

Лекція 5

ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ В ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНАХ

5.1 Призначення і види систем охолодження повітря

Історія розвитку техніки кондиціонування повітря в пасажирських вагонах починається зі спроби остудити його за допомогою льоду. У той час були відсутні малогабаритні і високопродуктивні холодильні установки.

Спроби охолодження повітря у вагонах за допомогою льоду здійснювалися трьома способами:

- продуванням свіжого повітря над льодом, що тане, засипаним у шухляду-бункер, який був підвішений під кузовом

вагона. Вагон з такою системою охолодження був побудований у Росії ще в 1915 році;

- продуванням повітря крізь струмені води, що розприскується, охолодженим льодом. Установка, що працює за таким принципом, була випробувана в 1938 році Ленінградським вагонобудівним заводом ім. Єгорова. Ця установка витратила при температурі повітря $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ близько 133 кг льоду в годину і забезпечувала температуру повітря у вагоні на рівні $22\div 24\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- продуванням повітря через охолоджувач, по змійовику якого циркулювала вода, охолоджена льодом. Така установка була побудована і випробувана в 1955 році Калінінським вагонобудівним заводом. Дія системи бути частково автоматизована і складного нагляду за нею в експлуатації не було потрібно.

Історія підтвердила економічну недоцільність та технічну недосконалість перерахованих вище способів. В основному це виражалось в їх низькій ефективності і великій витраті льоду. Остання обставина вимагала створення запасів льоду, що складно і дорого в умовах районів з жарким кліматом, де в першу чергу потрібні для експлуатації вагони з повним кондиціонуванням повітря.

У сучасних вагонах для охолодження повітря використовується штучний холод, отриманий за допомогою спеціальної холодильної установки.

5.2 Термодинамічні основи штучного охолодження

Молекулярно-кінетична теорія учить, що молекули тіла знаходяться в безперервному тепловому русі. Енергія цього руху називається тепловою. Всі молекули в конкретному тілі рухаються з різною швидкістю, але для кожної температури характерна певна швидкість. Чим вище температура тіла, тим вище і швидкість.

У Міжнародній системі одиниць як єдина міра енергії усіх видів прийнятий Джоуль. Калорія є несистемною одиницею.

Теплоємністю, чи питомою теплою , називають кількість тепла, яке потрібне для підвищення або зниження температури 1 кг тіла на один градус.

Питомим об'ємом називають об'єм одиниці (одного кілограма) маси речовини ($\text{м}^3/\text{кг}$), а величину, зворотну питомому об'єму, - густиною речовини ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Температура, тиск і питомий об'єм називаються термічними параметрами стану речовини. Остання може бути у твердому, рідкому і газоподібному стані. Ці три стани називаються агрегатними станами речовини.

Агрегатний стан визначається не тільки властивостями даної речовини, він залежить від зовнішніх впливів на речовину. Змінюючи температуру і тиск, можна домогтися переходу речовини з одного стану в інший.

При кипінні води її температура залишається постійною, поки вся вода не перейде в пару, хоча теплота увесь час підводиться. Процес, що відбувається при постійній температурі, називають ізотермічним процесом. Звичайне пароутворення відбувається не тільки з поверхні рідини, але й усередині її з підйомом пухирців пари нагору, у простір над рідиною. Кипить рідина при температурі, коли пружність її пари стає рівною тиску в навколишнім просторі. Отже, температура кипіння підвищується зі збільшенням тиску, тому що молекули повинні переборювати його для того, щоб вилетіти з рідини. Зменшення тиску зменшує точку кипіння рідини. При кипінні теплота витрачається на внутрішню роботу з підтримки сил, що утримують молекули рідини, і її називають схованою теплою паротворення. Величина цієї теплоти залежить від речовини і тиску, при якому відбувається процес кипіння.

Якщо в отриманій пари будемо віднімати тепло, то одержимо рідину; це явище називається конденсацією. Для конденсації 1 кг пари необхідно відняти рівно стільки тепла, скільки було підведено при кипінні 1 кг рідини при тій же тиску.

Конденсація пари можлива лише при охолодженні до температури кипіння даної рідини чи нижче її. Якщо ж температура кипіння даної рідини дуже низька, а нам бажано скондесувати пару при більш високих температурах, то цю пару необхідно стиснути до такого тиску, якому відповідала би

температура кипіння, рівна бажаній нам температурі конденсації. Це явище дуже широко використовується в холодильній техніці.

Холодильною машиною називають комплекс пристроїв, необхідних для здійснення замкнутого циклу холодильного агента і призначених для одержання низьких температур.

На роботу холодильної машини завжди затрачається енергія.

Будь-який природний процес, що супроводжується поглинанням тепла, може бути використаний для охолодження. Під охолодженням розуміють зниження температури охолоджуваного тіла. Понизити температуру тіла можна зменшенням у ньому запасу тепла, але, щоб відвести тепло від тіла, необхідно мати більш холодне середовище чи тіло, що сприймало це тепло.

Кількість тепла, що віднімається від тіла при його охолодженні, називається холодопродуктивністю.

Робоча речовина, що циркулює в холодильній машині, називається холодильним агентом.

5.3 Способи одержання штучного холоду

- Випаровувальне охолодження засноване на випарі води і її теплообміні з навколишнім повітрям. Цей вид охолодження застосовується в різного типу градирнях.

- Льодяне охолодження є надійним і простим за способом дії, але одержувані при ньому температури для цілого ряду продуктів високі. Тривале збереження цих продуктів вимагає більш низьких температур, досягти яких можна, застосовуючи льодосоляне охолодження.

- Льодосоляне охолодження засноване на таненні льоду і розчиненні повареної солі. При таненні льодосоляної суміші відбувається ослаблення міжмолекулярних сполучень і руйнування кристалічних ґрат. Для цього потрібна теплота, що відбирається від розчинника, тобто води, отриманої при таненні льоду і розчиненої в ньому солі.

До схованої теплоти, що поглинається льодом, приєднується теплота, що поглинається сіллю при розчиненні її у воді.

Льодосоляне охолодження має такі недоліки: мала холодопродуктивність суміші льоду і солі, неможливість одержання необхідних низьких температур, розчин, одержуваний при таненні льоду і розчиненні солі, викликає посилену корозію вагонів-льодників і верхньої будови колії.

- Сухольодяне охолодження засноване на переході твердої вуглекислоти в газоподібний стан, минаючи рідку фазу.

- Охолодження рідкими газами (азотом, киснем, вуглекислим газом) засновано на їхньому кипінні при низькій температурі. Найбільше застосування має рідкий азот, що є відходом при виробництві інших газів. Переваги азотного охолодження вагонів: можливість одержання широкого діапазону низьких температур; простота устаткування і надійність роботи; збереження якості вантажів в умовах газового азотного середовища при різкому скороченні вагових утрат від природного збитку. Однак висока вартість рідкого азоту поки не дає можливість широко застосовувати його на залізничному транспорті.

5.4 Типи холодильних машин

Круговий тепловий процес, здійснюваний робочою речовиною в холодильній машині, називається холодильним циклом.

У залежності від способу здійснення замкнутого циклу холодильні машини підрозділяють на три типи:

- компресійні (повітряні і парові);
- абсорбційні та адсорбційні;
- ежекторні.

Повітряні компресійні машини засновані на тім явищі, що при адіабатичному розширенні стиснутого газу з падінням тиску знижується його температура (адіабатичним називається процес, що протікає без теплообміну з навколишнім середовищем).

Парові компресійні холодильні машини засновані на стисненні пари холодильного агента компресором, перетворенні

їх у рідину в конденсаторі і наступному кипінні цієї рідини у випаровувачі при низькому тиску. Отримана пара засмоктується компресором і процес знову повторюється.

Абсорбційні холодильні машини засновані на поглинанні деяких пар холодильних агентів якою-небудь речовиною (наприклад, пару аміаку водою) з наступним їхнім випарюванням.

Абсорбційна холодильна установка (рисунок 5.1) працює таким чином. Від випаровувача 1 пара рідини, що охолоджує, надходить в адсорбер 2, де при зменшеному тиску поглинається розчинником (водою). Тепло, що виділяється при цьому в адсорбері, відводиться холодною водою, що протікає по трубопроводу 8. Розчин, збагачений внаслідок хімічної реакції, насосом 6 подається з адсорбера в кип'ятильник 4. Там за рахунок тепла гарячої води, яка надходить від зовнішнього джерела, випаровується пара і прямує в конденсатор 5 і далі у випаровувач, а слабкий розчин дроселюється крізь вентиль 3 до більш низького тиску і надходить в адсорбер для насичення рідиною, що охолоджує.

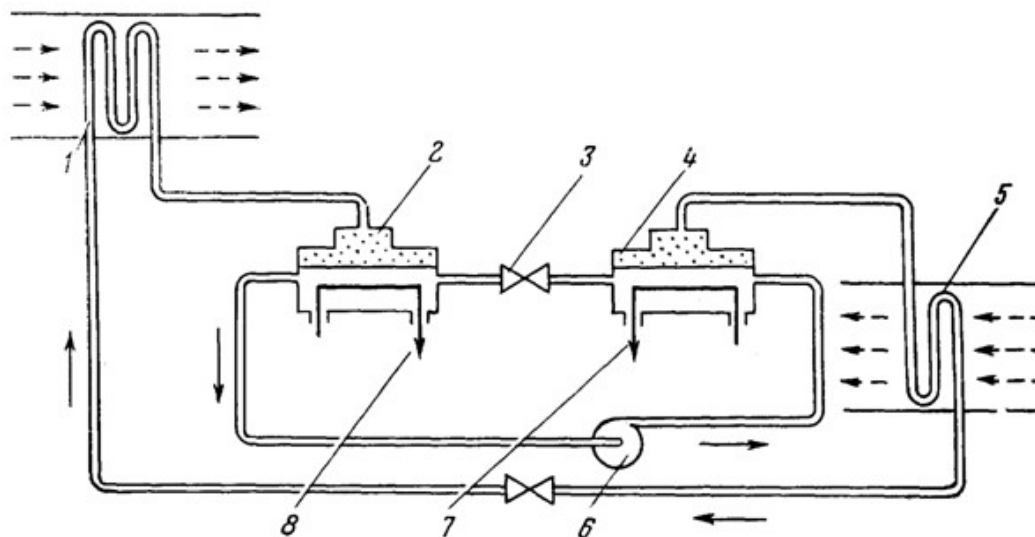


Рисунок 5.1 – Принципова схема абсорбційної холодильної установки

Адсорбційні холодильні машини відрізняються від абсорбційних тим, що в них, як поглинач, використовуються тверді речовини - силікагель та інші.

Пароежекторні холодильні машини (рисунок 5.2) відносяться до групи парових холодильних машин, у яких для одержання холоду використовується випаровування рідини.

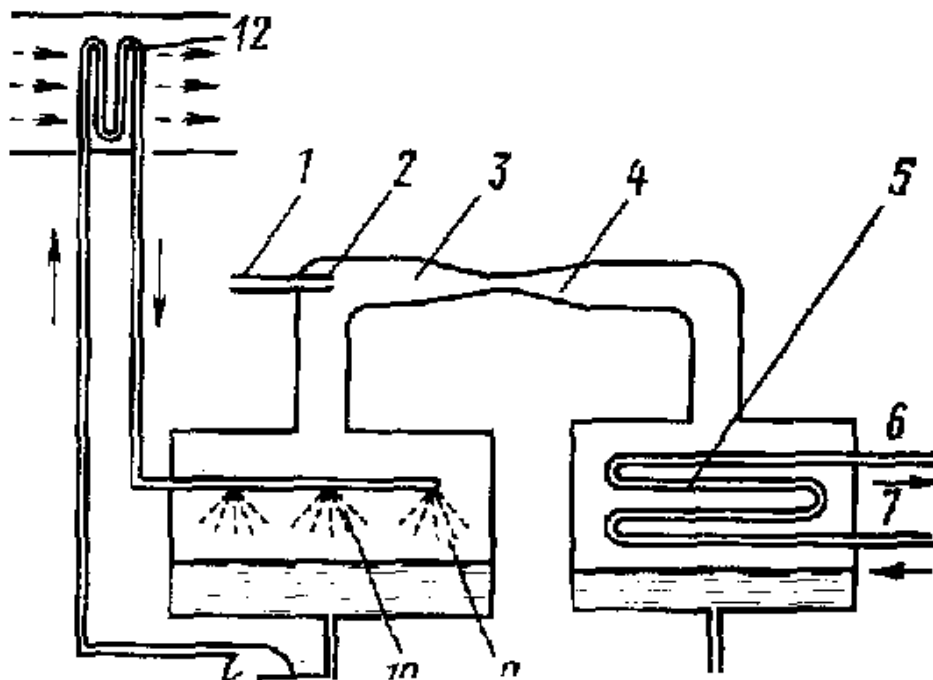


Рисунок 5.2 – Принципова схема пароежекторної холодильної установки

Пароежекторна холодильна машина працює наступним чином.

Пара з паропроводу 1 надходить в ежектор 2, де за рахунок кінетичної енергії потоку відбувається всмоктування води з випаровувача 9. В камері змішування 3 цей потік пари, що пересувається з високою швидкістю, підхоплює повільний потік пари, що надходить з випаровувача. Дифузор 4 перетворює частину кінетичної енергії і таким чином відбувається стиснення суміші до тиску конденсації. Теплота конденсації пари відводиться від конденсатора охолодженою водою по трубах 6 та 7 або повітрям, що продувається крізь конденсатор. Тепла вода з конденсатора насосом 8 подається в котел, де перетворюється в пару і знов подається в паропровід.

Внаслідок розрідження, яке створюється ежектором, відбувається випаровування води у випаровувачі 9, яке супроводжується зниженням її температури до $5\div 8$ °С. Вода, що

охолоджена у випаровувачі, перекачується насосом 11 у повітроохолоджувач 12, де відбувається теплообмін між холодною водою та теплим повітрям, що надходить у вагон. Далі підігріта вода з повітроохолоджувача надходить у випаровувач і цикл повторюється.

Найбільш широкое застосування у пасажирських вагонах знайшли парові компресійні холодильні установки.

5.5 Цикл ідеальної парової компресійної машини

Цикли, у яких теплота перетворюється в роботу, називаються прямими. Прямі цикли роблять усі теплові машини (парові, двигуни внутрішнього згоряння й ін.). Зворотними називають цикли, на здійснення яких витрачається механічна енергія.

Робота ідеальної парової компресійної холодильної машини (рисунок 5.3) теоретично здійснюється за зворотним циклом Карно. Для цього температура охолоджуваного тіла й середовища, що охолоджується, повинна бути постійною, а також повинний бути налагоджений ідеальний теплообмін між робочим тілом і навколишнім середовищем.

Усі процеси циклу Карно зворотні. Зворотним називається такий процес, який можна провести в зворотному напрямку й одержати всі тіла, що беруть участь у процесі, в первісному стані.

Тепловий цикл складається з двох ізотерм (4-1) і (2-3) і двох адіабат (1-2) і (3-4).

Т

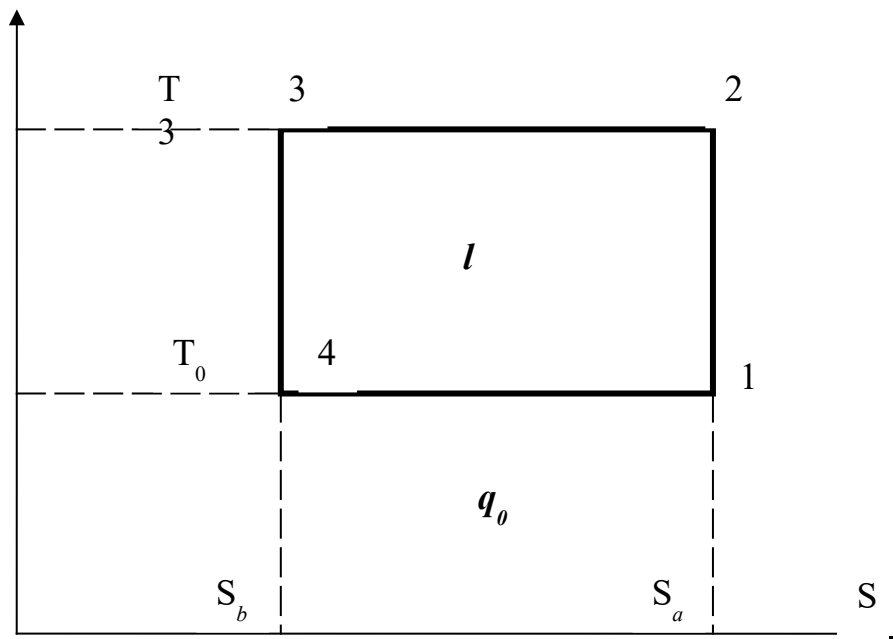


Рисунок 5.3 – Діаграма циклу ідеальної парової холодильної машини

В ізотермічному процесі (4-1) до робочого тіла підводиться тепло q_0 від навколишнього середовища, при цьому температура робочого тіла T_0 залишається постійною. Цей процес є основним у холодильній машині. Всі інші процеси призначені для того, щоб тепло при низькій температурі було передано тілу, що має більш високу температуру T . Адіабатичний процес стиску робочого тіла (1-2) здійснюється без теплообміну з навколишнім середовищем, а температура робочого тіла при цьому підвищується від T_0 до T . В адіабатичному процесі розширення (3-4) робоче тіло знижує свою температуру від T до T_0 і виконує корисну роботу $l_{розш}$.

Умовою циклу Карно є відсутність різниці температур між охолоджуваним середовищем і робочим тілом, а також між приймачем тепла і робочим тілом.

Тепло, підведене до робочого тіла від охолоджуваного середовища q_0 , виражається площею і для циклу Карно складає

$$q_0 = T_0 \times (S_a - S_b) \text{ кДж/кг.} \quad (5.1)$$

Робота, витрачена на стиск, у цьому випадку буде дорівнювати

$$l = (T - T_0) \times (S_a - S_b) \text{ кДж/кг.} \quad (5.2)$$

Усяку витрату енергії можна подати добутком різниці потенціалів (температур, тисків, напруг) на збільшення деякої величини. У теплотехніці ця величина називається ентропією, що є таким же параметром стану речовини, як і температура, тиск, ентальпія й ін.

Під ентропією розуміють незначне відношення малої кількості тепла Δq , наданого тілу чи віднятого в нього, до абсолютної температури T , при якій це збільшення відбувається. Збільшення ентропії ΔS може бути виражено рівнянням

$$dS = \frac{dq}{T}. \quad (5.3)$$

Це відношення прийняте як міра необоротності реальних процесів.

У всякій ізольованій системі тіл ентропія може тільки зростати, якщо процеси мають необоротний характер, чи залишатися постійною, якщо процеси мають оборотний характер. Зміна ентропії характеризує необоротні процеси. Збільшення внутрішньої енергії за рахунок теплообміну, дифузії, тертя і необоротних процесів приводить до зростання ентропії тіл, що беруть участь у цьому процесі.

Очевидно, що робота, витрачена на перекачування тепла з нижчого температурного рівня на вищий, дорівнює добутку різниці цих температур на збільшення ентропії. Відповідно до визначення холодильного коефіцієнта одержимо вираз

$$\varepsilon_{\text{теор}} = \frac{T_0 \cdot (S_a - S_b)}{(T - T_0) \cdot (S_a - S_b)} = \frac{T_0}{T - T_0}. \quad (5.4)$$

Дане рівняння показує, що холодильний коефіцієнт циклу Карно не залежить від властивостей робочого тіла, а визначається тільки температурами охолоджуваного середовища T_0 і середовища, що сприймає тепло T . Чим вище температура охолоджуваного середовища, тим більше холодильний коефіцієнт. З погляду економічності процесу охолодження не слід охолоджувати середовище нижче тієї температури, що достатня для досягнення мети.

Величина T_0 впливає на холодильний коефіцієнт більше, ніж T . Отже, для досягнення більш високого значення холодильного коефіцієнта варто працювати при високій температурі T_0 і низькій температурі T . Однак варто пам'ятати, що холодильна машина завжди зв'язана з певними температурними обмеженнями, які не дозволяють довільно вибрати температуру T_0 і T .

5.6 Схема та принцип дії парової компресійної холодильної машини (ПКХМ)

Будь-яка ПКХМ містить у собі такі основні елементи (рисунок 5.4):

- а) компресор;
- б) конденсатор;
- в) дросель (терморегулюючий вентиль);
- г) випаровувач;
- д) приміщення, що охолоджується.

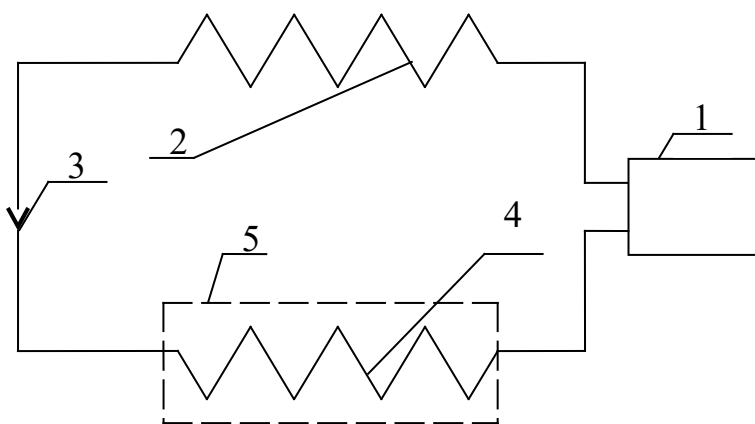


Рисунок 5.4 – Принципова схема ПКХМ

Компресор холодильної машини виконує дві функції:

- відсмоктує пару холодоагенту з випаровувача. За рахунок цього у випаровувачі підтримується заданий тиск відповідно до бажаної температури кипіння холодоагенту. Тиск у випаровувачі відносно низький, але в реальних машинах він

більше атмосферного, щоб через нещільності повітря не мало можливості проникнути в систему. Рівень температур, що досягається в машині, визначається типом холодоагенту;

- компресор стискає пару холодоагенту до такого тиску, щоб температура конденсації (кипіння) була вище, ніж температура навколишнього середовища (приблизно на $10\div 15$ °C). Конденсатор у більшості машин являє собою трубчастий поребрений теплообмінювач (радіатор). У конденсатор попадає гаряча перегріта пара холодоагенту з температурою значно вище температури навколишнього середовища. Конденсатор примусово обдувається повітрям.

Холодоагент віддає теплоту в навколишнє середовище, температура пари знижується і нарешті настає такий момент, коли при зіткненні найменш рухливих часток вони злипаються, тобто починається конденсація. Для продовження конденсації необхідно пригальмувати й інші частки, змусити їх рухатися повільніше, знизити їхню кінетичну енергію. Цей процес називається відведенням теплоти. У процесі конденсації, поки вся пара не перетвориться в рідину, температура рідкої фази холодоагенту і пари, що скондесувалася, буде залишатися незмінною, рівною температурі конденсації (кипіння) при даному тиску (тобто тиску, що створює компресор). Оскільки температура конденсації вище, ніж температура навколишнього середовища $10\div 15$ °C, то за рахунок подальшої тепловіддачі в навколишнє середовище на виході з конденсатора можна одержати рідкий холодоагент із температурою нижче температури конденсації, але ніколи не нижче температури навколишнього середовища.

Від компресора до дроселя знаходиться зона високого тиску, від дроселя до компресора - зона низького тиску. Для поділу цих двох областей служить дросель, що являє собою отвір з малим прохідним перетином. За рахунок різниці тисків рідкий теплий холодоагент продавлюється тонким струмком у порожнину випаровувача. У випаровувачі тиск низький, а холодоагент, який туди потрапив, є перегрітим відносно умов у випаровувачі. Потрапляючи у випаровувач, крапля холодоагенту миттєво закипає у всьому обсязі і з неї виділяється пара, кількість якої буде відповідати кількості надлишкової енергії краплі. Тобто

крапля розділиться на дві фракції: пара (10-20 %) і рідина з температурою кипіння у випаровувачі. Надалі рідка фракція може кипіти тільки за рахунок теплоти, що подається ззовні, тобто що надходить з охолоджуваного середовища через стінки випаровувача.

5.7 Побудова циклу одноступінчатої ПКХМ

Для теплотехнічних розрахунків дуже зручно користуватися LgP-i діаграмою для холодильних агентів (рисунок 5.5).

Діаграма розділена прикордонними кривими $X=0$ і $X=1$ на три прикордонні зони. Очевидно, що ізобари - це горизонталі, лінії рівної ентальпії – це вертикалі. В області вологої пари ($0 < X < 1$) нанесені лінії рівного ступеня сухості. Ізотерми в кожній з областей йдуть за своїм законами:

*0 в області рідкої фази ізотерми йдуть вертикально, тобто $I = \text{const}$;

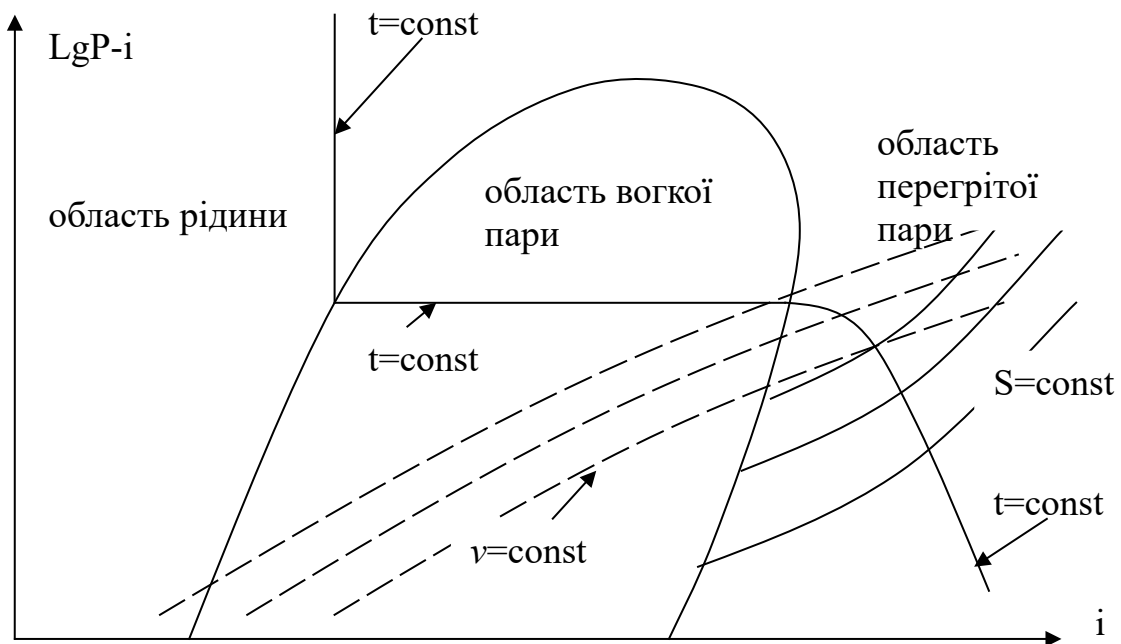


Рисунок 5.5 – LgP-i діаграма для холодильних агентів

*1 в області вологої пари ізотерми збігаються з ізобарами, тому що температура киплячої рідини змінюватися не може;

*2 в області перегрітої пари ізотерма зображується кривою, тому що теплоємність пари залежить від тиску (зі зменшенням тиску вона росте).

Крім того, на діаграмі нанесені адіабати і лінії рівних питомих об'ємів (ізохори).

Мета побудови циклу ПКХМ – отримати вихідні дані для розрахунку елементів холодильної машини: компресора, конденсатора, дроселя і випаровувача.

Вихідні дані:

- холодопродуктивність машини (отримана в результаті побудови процесів обробки вологого повітря в I-d діаграмі (рисунок 5.6);

- температура кипіння холодоагенту у випаровувачі (отримана там же);

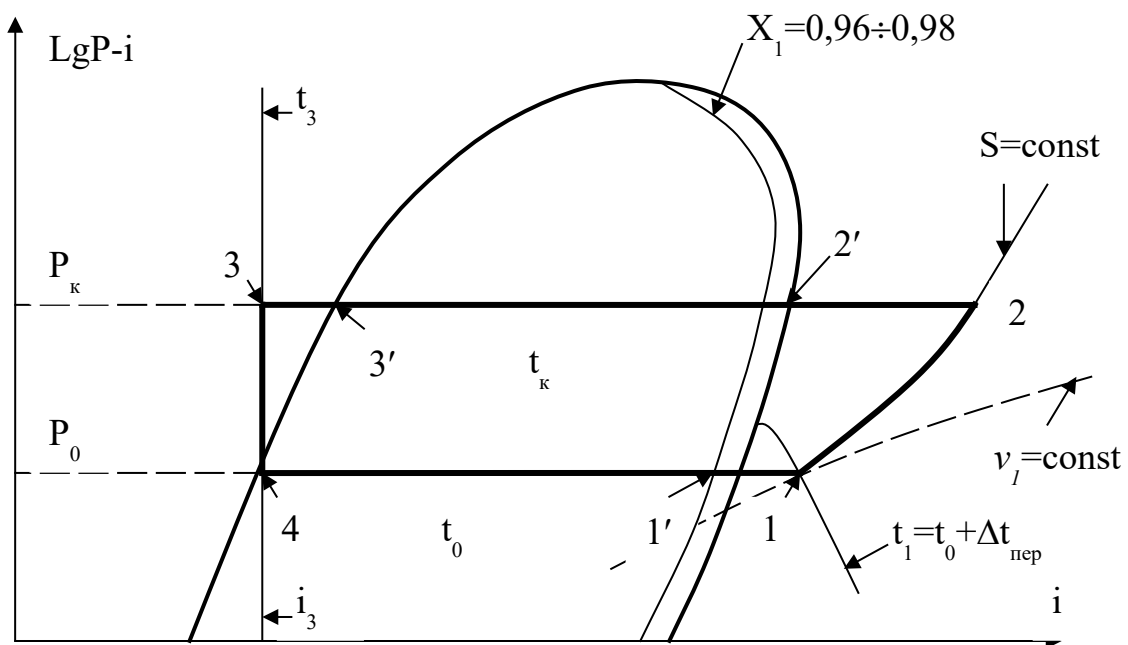


Рисунок 5.6 – Цикл ПКХМ у LgP-i діаграмі

Як правило, для охолодження холодоагенту у конденсаторі використовується зовнішнє повітря. Тому температура конденсації холодоагенту повинна бути більшою на 10÷15 °С.

На підставі відомої температури у випаровувачі t_0 знаходимо тиск у останньому P_0 , за відомою температурою конденсації t_k знаходимо тиск конденсації P_k . Проводимо на діаграмі ізобари $P_0=\text{const}$ та $P_k=\text{const}$. Оскільки у випаровувачі холодоагент кипить, то на виході з нього пара буде вогкою (тобто міститиме у собі частки холодоагенту, який не встиг випаруватися). Тому точка 1', яка відповідає параметрам пари на виході з випарника, знаходиться на перетині ізобари $P_0=\text{const}$ та лінії міри сухості $X_1=\text{const}$ (X_1 - ступінь сухості парів холодоагенту на виході з випаровувача, звичайно він дорівнює $X_1=0,96\div 0,98$).

На шляху від випаровувача до компресора пара холодоагенту нагрівається та стає сухою перегрітою. Величина перегрівання $\Delta t_{\text{пер}}$ залежить від місця розташування випаровувача і складає $3\div 5$ °С. Тоді точка 1, яка характеризує параметри холодоагенту на вході у компресор, знаходиться на перетині ізобари $P_0=\text{const}$ та ізотерми $t_1=t_0+\Delta t_{\text{пер}}$. Стиск пари холодоагенту в компресорі приймаємо адіабатним ($S=\text{const}$). Точка 2, відповідна параметрам холодоагенту на виході з компресора (тобто на вході у конденсатор), знайдеться на перетині адіабати, проведеної з точки 1 та ізобари $P_k=\text{const}$. У конденсаторі при незмінному тиску пара холодоагенту охолоджується і, як тільки їхня температура дорівнюватиме температурі конденсації (точка 2), почнеться перетворення пари у рідину аж до повної конденсації (точка 3'). Для отримання сталої рідинної фази конденсатори проектують таким чином, щоб на виході з останнього холодоагент мав температуру завжди нижче температури конденсації (але завжди вище температури зовнішнього повітря)

$$t_3=t_{\text{зов}}+(4\div 5)^{\circ}\text{C}. \quad (5.5)$$

Точка 3, яка відповідає параметрам холодоагенту на виході з конденсатора, знаходиться на перетині ізобари $P_k=\text{const}$ та ізотерми $t_3=\text{const}$. Процес дроселювання йде без зміни тепловмісту холодоагенту, тому точка 4, яка відповідає параметрам холодоагенту на вході до випаровувача, знаходиться на перетині ізобари $P_0=\text{const}$ та ізоентальпи $i_3=\text{const}$.

На підставі побудованого циклу знаходимо такі дані, що необхідні для розрахунку елементів холодильної машини:

- питома холодопродуктивність 1 кг пари холодоагенту $q_0 = i_1 - i_4$, кДж/кг;
- кількість холодоагенту, що циркулює в системі $M_{x.a.} = \frac{Q_0}{q_0}$;
- питома об'єм холодоагенту на вході в компресор $v_{x.a.1}$ → прочитати на діаграмі;
- об'єм холодоагенту, що всмоктується в компресор в одиницю часу - $V_{xa} = M_{xa} \times v_{xa1}$;
- питома робота стиску в компресорі - $l_k = i_1 - i_2$, кДж/кг;
- корисна потужність приводу компресора $N_{об} = \frac{l_k \times M_{xa}}{3600}$ кВт;
- питома теплове навантаження на конденсатор та переохолоджувач $q_k = i_2 - i_3$, кДж/кг.

Лекція 6

КОНСТРУКЦІЯ КОМПРЕСОРІВ

6.1 Класифікація компресорів

Компресор є одним з основних елементів холодильної машини. Найбільше розповсюдження на залізничному транспорті дістали поршневі компресори. Вони можуть бути класифіковані:

а) за типом холодоагенту, що застосовується, – аміакові, хладонові, вуглекислотні та ін. Проте деякі компресори можуть працювати на різних холодильних агентах: промисловість випускає уніфіковані компресори для роботи на аміаку і хладоні-22;

б) за числом циліндрів – одноциліндрові та багатоциліндрові;

в) за розташуванням осей циліндрів – горизонтальні, вертикальні, наріжні, V-подібне, W-подібне розташування циліндрів;

г) за робочими порожнинами: одинарної дії, в якому холодильний агент стискується лише однією стороною поршня, і

подвійної дії, в якому стиск холодильного агента здійснюється по черзі обома сторонами поршня;

д) за ступенями стиску – одноступінчасті та багатоступінчасті;

е) за конструктивними ознаками – картерні і блок-картерні із спільною вилівкою блока та картера; з примусовим змащуванням, зі змащуванням розбризкуванням; з водяним та повітряним охолодженням циліндрів;

ж) за швидкістю обертання вала – малооборотні (до 500 об/хв), середньоборотні (500-1000 об/хв) та високооборотні (понад 1000 об/хв);

к) за стандартною холодопродуктивністю – малі (менш 11.6 кВт), середні – (11.6-58 кВт), великі (понад 58 кВт);

л) за типом привода – безпосередньо від електродвигуна крізь муфту та шляхом ремінної передачі;

м) за місцем установлення - стаціонарні і транспортні.

6.2 Робочий процес компресора та коефіцієнт подачі

За один повний оберт вала компресора у кожному циліндрі проходить повний цикл, що складається з всмоктування, стиску, нагнітання і розширення (рисунок 6.1).

При побудові теоретичної індикаторної діаграми приймають, що з початком руху поршня з лівого граничного положення у граничне праве відкривається клапан компресора і пара холодильного агента, що всмоктується, надходить у компресор. Об'єм циліндра компресора V_h дорівнює об'єму, що описує поршень. Весь цей об'єм заповнюється парою холодильного агента при постійному тиску P_0 , що дорівнює тиску у випарнику. Крім того, постійними залишаються температура і об'єм пари. Лінія 1-2 зображає процес всмоктування пари холодоагенту компресором.

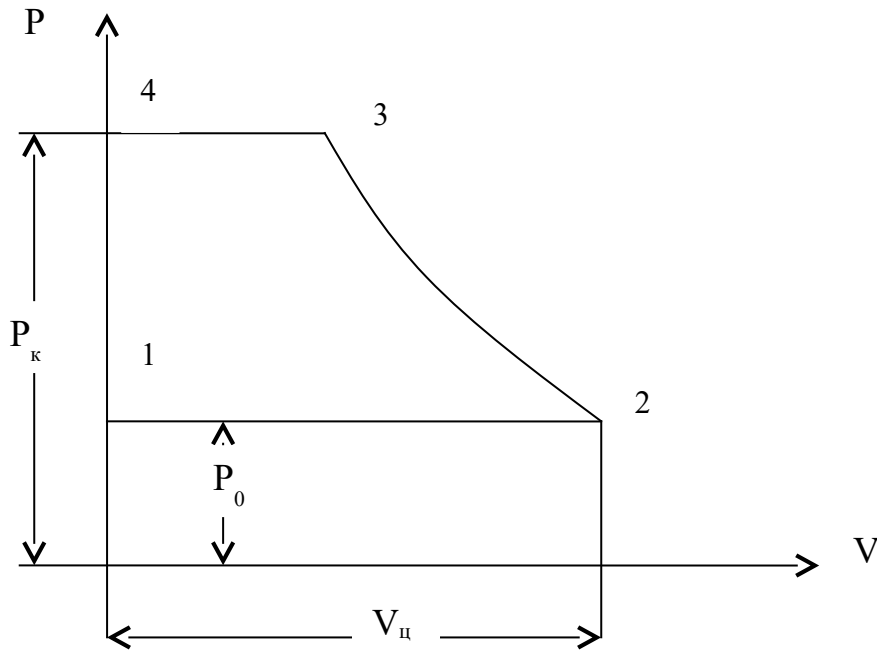


Рисунок 6.1 – Діаграма ідеального компресора в P-V координатах

Процес всмоктування закінчується в той момент, коли поршень досяг свого граничного правого положення. Клапан, що всмоктує, закривається і при зворотному ході поршня відбувається адіабатичне стискання пари у компресорі до тиску P_k , що дорівнює тиску в конденсаторі (лінія 2-3). При цьому тиску відкривається нагнітальний клапан.

Пара холодоагенту при подальшому русі поршня ліворуч виштовхується з циліндра (лінія 3-4) у конденсатор при постійному тиску P_k . Оскільки теоретично циліндр не має шкідливого простору, при досягненні поршнем граничного лівого положення вся пара холодильного агента витісняється з циліндра. При розгляді ідеального циклу компресора вважалося, що щілини між поршнем і кришкою циліндра немає, опір на всмоктуванні і нагнітанні буде відсутній, підігріву газу при всмоктуванні також немає. При таких припущеннях весь об'єм, що описується поршнями, заповнюється газом з параметрами на всмоктуванні і коефіцієнт подачі компресора $\lambda=1$. У реальному компресорі між поршнем і кришкою завжди є щілина, причому вона закладається конструктивно з урахуванням припущень на виготовлення деталі, теплового подовження і збільшення щілин підшипників за рахунок спрацювання. Об'єм між поршнями і кришкою циліндра

називається шкідливим простором. При виштовхуванні стислого газу в шкідливому просторі залишиться стислий газ. Таким чином, на вході свіжа порція газу не зможе надходити до тих пір, доки в шкідливому просторі газ, що залишився, не розшириться принаймні до тиску перед клапанами, що всмоктують.

Розглянемо дійсну індикаторну діаграму компресора (рисунок 6.2).

При тиску, який нижче тиску у випарнику, відчиняється клапан, що всмоктує, та починається всмоктування пари холодоагенту. Лінія 1-2 проходить при тиску P_0 нижче на ΔP_0 тиску кипіння через опор в клапані і трубопроводі, що всмоктує. При зворотному ході поршень стискує пару (лінія 2-3) холодоагенту з підвищенням його температури і тиску, а на ділянці 2-2' частина ходу використовується на доведення тиску в циліндрі до P_0 .

Зменшення об'єму всмоктування, яке викликане опором при всмоктуванні, на діаграмі зобразиться відрізком C_2 , що буде зростати із зростанням ΔP_0 . Лінія стиску 2-3 в залежності від вологості пари буде являти собою суху або вологу адіабату. Пари холодоагенту виштовхуються у конденсатор при тиску ΔP_0 вище тиску конденсації через опор в нагнітальному клапані і трубопроводі. За наявності шкідливого простору V_c не вся пара виштовхується у нагнітальний трубопровід; частина пари, що залишилася, поширюється при зворотному ході поршня (лінія 1-4). Відрізок C_1 показує розширення пари до тиску у випаровувачі. Для сухої пари лінія розширення падає більш прямовисно, для вологої пари крива 4-5 більш положиста. Після цього знову розпочинається всмоктування пари холодоагенту з випаровувача в циліндр.

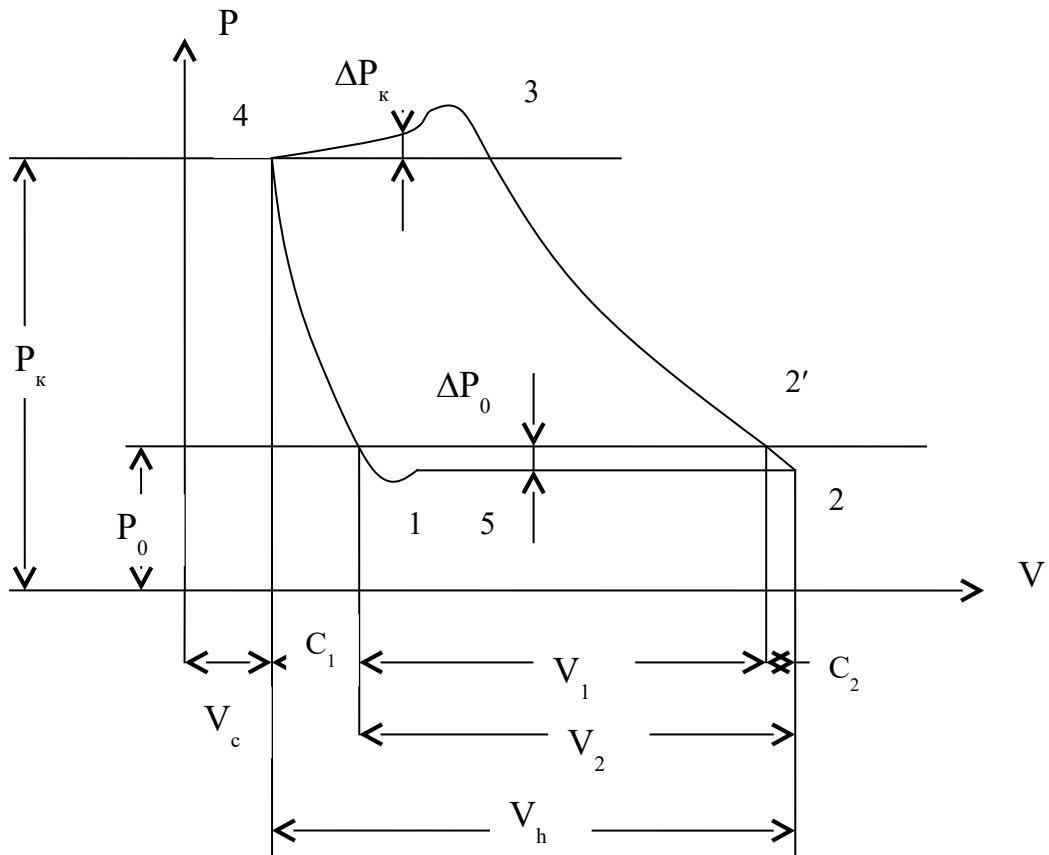


Рисунок 6.2 – Діаграма реального компресора в P-V координатах

Теоретична холодопродуктивність компресора визначається, кВт,

$$Q_{0теор} = \frac{V_h \times q_v}{3600}, \quad (6.1)$$

де V_h - об'єм, що описується поршнями компресора, м³/год;

q_v - об'ємна холодопродуктивність пари холодоагенту, що всмоктується, кДж/м³.

Щоб обчислити дійсну холодопродуктивність компресора, запроваджують ряд робочих коефіцієнтів, що відображають факти, невраховані для теоретичного циклу компресора.

Об'ємний коефіцієнт λ_c , що є основним з усіх коефіцієнтів, являє собою відношення об'єму засмоктуваної пари до об'єму, що описується поршнем у циліндрі. Його визначають за індикаторною діаграмою

$$\lambda_c = \frac{V_2}{V_h}. \quad (6.2)$$

Значення об'ємного коефіцієнта низькі і залежать від умов роботи компресора. Основним фактором, що визначає значення коефіцієнта, є величина шкідливого простору, який складає 2÷5 % обсягу циліндра компресора.

Крім того, об'ємний коефіцієнт залежить від тиску конденсації P_k та кипіння P_0 . Найчастіше об'ємний коефіцієнт обчислюють за формулою

$$\lambda_c = 1 - C \times \left[\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right], \quad (6.3)$$

де C – відносна величина шкідливого простору, залежно від величини та типу компресора $C = 0,02 \div 0,05$. Значення показника політропи m для аміакових компресорів приймають рівним 1,1, а для хладонових 1,0.

Особливо зростають об'ємні втрати при "вологодому ході" компресора, бо частки рідини, які потрапили у циліндр, випаровуються у процесі зворотного розширення і займають деяку частину об'єму циліндра.

Коефіцієнт дроселювання $\lambda_{др}$ враховує об'ємні втрати, що викликані опором у всмоктувальному та нагнітальному клапанах.

Для температури кипіння до -30°C приймають $\lambda_{др} = 0,93 \div 0,97$.

Коефіцієнт підігріву характеризує вплив теплообміну пари зі стінками циліндра, поршнем і клапанами. Із збільшенням міри стиску теплообмін зростає, а з підвищенням швидкості обертання вала зменшується, що сприяє підвищенню коефіцієнта підігріву λ_n . Останній можна приблизно визначити за формулою

$$\lambda_n = \frac{T_0}{T_k}, \quad (6.4)$$

де T_0 і T_k - відповідно температура кипіння та конденсації в $^\circ\text{K}$.

Коефіцієнт щільності враховує пропуск холодоагенту через нещільності у поршневих кільцях і клапанах. Його приймають рівним $0,96 \div 0,98$.

Сумарний коефіцієнт подачі компресора дає загальну оцінку втрат дійсного компресора та являє собою добуток

$$\lambda = \lambda_c \times \lambda_{op} \times \lambda_n \times \lambda_{nl}. \quad (6.5)$$

Дійсна потужність, що споживається компресором, більша, ніж теоретична; її підраховують за індикаторною діаграмою. Для цього запроваджують поняття індикаторного коефіцієнта корисної дії η_i (ККД). Він враховує втрати у роботі стиску 1 кг холодильного агенту в дійсному компресорі у порівнянні з теоретичним.

Величина η_i залежить, головним чином, від інтенсивності теплообміну в компресорі та депресії при всмоктуванні ΔP_0 і нагнітанні ΔP_k . Інтенсивність теплообміну між паром та стінками циліндра залежить від ступеня стиску у компресорі та інших факторів. З метою підвищення η_i використовують прилади для охолодження циліндрів компресорів (водяне охолодження оболонки, охолоджуючі ребра).

Індикаторний ККД можна визначити за такою формулою:

$$\eta_i = \lambda_n + b \times t_0, \quad (6.6)$$

де b - емпіричний коефіцієнт, який дорівнює для хладонових вертикальних компресорів 0,0025. В цьому разі індикаторна потужність компресора визначається, як

$$N_i = \frac{N_{теор}}{\eta_i}. \quad (6.7)$$

Повну потужність, витрачену на валу компресора, називають ефективною та визначають з урахуванням механічних втрат, затрачених на подолання тертя у частинах компресора, що рухаються,

$$N_o = N_i + N_f, \quad (6.8)$$

де N_f – потужність, необхідна на подолання опору тертя.

$$N_{mp} = V_h \times P_{mp}, \quad (6.9)$$

де $P_{тр}$ - питомий тиск тертя; для хладонових прямотечійних, він знаходиться в межах $39 \div 59$ кН/м².

Механічний ККД враховує втрати на тертя у рухомих частинах компресора і виражає відношення індикаторної потужності до ефективної, тобто до потужності, що витрачається на валу компресора

$$\eta_m = \frac{N_i}{N_e}. \quad (6.10)$$

Втрати на тертя у компресорі залежать від якості мастила, правильності монтажу та експлуатації, навантаження на компресор, якості обробки деталей, що можуть тертися. Значення η_m знаходяться в межах $0.85 \div 0.9$.

Якщо компресор сполучається з двигуном шляхом передачі, то потужність на валу двигуна $N_{дв}$ буде більше ефективної на величину втрат у передачі та у підшипниках електродвигуна

$$N_{дв} = \frac{N_e}{\eta}, \quad (6.11)$$

де $\eta_n = \eta_{пер} \times \eta_{едв}$

Загальний ККД передачі дорівнює $0,96 \div 0,99$.

Холодопродуктивність та необхідна потужність компресора залежать від температур кипіння, конденсації і переохолодження. Тому порівняння машин за холодопродуктивністю проводять на певних температурних умовах (так званих стандартних умовах). Для хладону-12 вони такі:

- температура кипіння -15°C ;
- температура всмоктування пари $+15^{\circ}\text{C}$;
- температура конденсації $+30^{\circ}\text{C}$;
- температура переохолодження $+25^{\circ}\text{C}$.

Для вибору компресора необхідно роботу холодопродуктивність бруто при заданих температурних умовах перерахувати на стандартну холодопродуктивність за формулою

$$Q_{0cm} = Q_{0роб} \times \frac{q_v^{cm} \lambda^{cm}}{q_v^p \lambda^p}, \quad (6.12)$$

де $Q_{0нб}$, $Q_{0дгд}$ - холодопродуктивність відповідно при стандартних і робочих умовах;

q_v^{cm} - питома холодопродуктивність 1 м³ холодоагенту у стандартних умовах;

q_v^p - питома холодопродуктивність 1 м³ холодоагенту у робочих умовах;

λ^{cm} - коефіцієнт подачі компресора при стандартних умовах;

λ^p - коефіцієнт подачі компресора при робочих умовах.

6.3 Основні елементи компресора

Кожен компресор має такі вузли, механізми і системи:

- **корпусні деталі** - блок циліндрів, масляна ванна, гільзи і голівки циліндрів;
- **кривошипно-шатунний механізм** - колінчатий вал з підшипниками і деталями ущільнення хвостовика в корпусі компресора (сальника), шатуни, поршні з пальцями, компресійними і мастилознімальними кільцями;
- **клапанний вузол** - всмоктувальні і нагнітальні клапани, механізм регулювання холодопродуктивності;
- **система змащування** - мастильний насос, редукційні клапани, мастилоприймач, манометр тиску мастила.

Блок циліндрів компресора є основною деталлю, всередині і зовні якої монтуються інші вузли чи окремі механізми. Як правило, блок являє собою вилітку складної конфігурації із сірого чавуна чи алюмінієвого сплаву з просоченої епоксидною смолою чи бакелітовим лаком внутрішньою поверхнею. Просочення попереджає просочування газоподібного хладона-12 крізь мікроскопічні пори металу і виконується лише при

виготовленні агрегату. Якщо блок зроблений заодно з масляною ванною, то його називають блоком-картером. У картерній (нижній) частині блоку встановлений колінчатий вал з підшипниками і вузли масляної системи. Туди ж заливають мастило. Позитивною особливістю блок-картерної конструкції є висока твердість, монолітність деталі і відсутність великої площі рознімання двох деталей. Недоліком - труднощі збирання-розбирання деталей шатунних підшипників.

У деяких компресорів нижня частина блока зроблена знімною, вона одночасно є опорою компресора і масляною ванною. Позитивною особливістю цього варіанта є висока ремонтпридатність компресора за рахунок вільного доступу до колінчатого вала і його підшипників знизу блока. До недоліків можна віднести наявність великої площини рознімання між нижньою частиною блока і масляною ванною, через що важко забезпечити герметизацію цього з'єднання.

Блоки циліндрів бувають без гільз і з гільзами (втулками) циліндрів. Останній варіант варто вважати більш вдалим, тому що при зносі робочої поверхні циліндра є можливість зробити так звану перегільзовку (зміну гільзи циліндра, що відпрацювала, новою). Цей захід робить термін служби дорогого блока практично необмеженим. Блоки без гільз для відновлення правильної геометричної форми розточують до встановленого ремонтного розміру і по досягненні граничного стану заміняють новими. Термін служби таких блоків обмежений.

Колінчатий вал необхідний для перетворення обертального руху, що додається йому електродвигуном, у зворотно-поступальні прямолінійні рухи поршнів. Забезпечується це за рахунок наявності у вала кривошипів (колін), що зв'язані з поршнями шатунами. Обертається вал у корінних підшипниках, а шатуни прикріплені до них за допомогою шатунних підшипників. Колінчаті вали зроблені зі сталі чи штампуванням з ковкого чавуна.

Клапани компресора поділяються на усмоктувальні і нагнітальні. Назва клапанів визначає їхні функції. Існує ціле сімейство конструкцій клапанів: пластинчасті, кільцеві і т.д. Така різниця викликана прагненням створити таку конструкцію клапана, яка забезпечувала б перехід газоподібного агента з

мінімальним опором, що враховується коефіцієнтом дроселювання, і забезпечувала б граничну щільність у місці посадки клапана, що враховується коефіцієнтом витоків.

Механізм регулювання холодопродуктивності забезпечує можливість автоматично змінювати потужність холодильної установки в залежності від теплонадходжень без її зупинки. У кожному компресорі ця конструктивна задача вирішена по-своєму: зміною об'ємної продуктивності за рахунок частоти обертання колінчатого вала чи байпасуванням одного чи декількох циліндрів (переключенням їхньої роботи "самих на себе", що рівносильне відключенню циліндра).

Система змащення забезпечує подачу мастила під тиском до поверхонь тертя підшипників і циліндрів, що знижує опір тертя, нагрів контактуючих деталей через тертя і їхнє механічне руйнування.

В установках кондиціонування повітря пасажирських вагонів, що мають систему електропостачання на постійному струмі, використовуються компресори чепцевої конструкції. Застосовувати безсальникові компресори напівгерметичної конструкції в одному корпусі з двигуном постійного струму не можна, тому що в цьому випадку внутрішня порожнина двигуна виявилася б заповненою парами холодоагенту з мастилом, яке є хорошим провідником електрики. Таким чином, струмонесучі деталі колектора виявилися б замкнутими на ротор і двигун при першому ж пуску вийшов з ладу.

В установках кондиціонування повітря типу МАБ-II використовується компресор типу V. Він має чотири V-подібно розташованих циліндри діаметром 80 мм, хід поршня 58 мм, годинний обсяг, описуваний поршнями, складає $111 \text{ м}^3/\text{год}$ при 1450 обертах на хвилину. Максимально припустимий робочий тиск на стороні усмоктування 0,9 МПа, на стороні нагнітання - 2 МПа. Маса компресора з маховиком 123 кг. Холодопродуктивність компресора при $t_0=5^\circ \text{ C}$ і $t_k=40^\circ \text{ C}$ складає 32,5 кВт. Потужність приводного електродвигуна 13 кВт.

Блок і ряд інших деталей компресора відлиті зі сплаву алюмінію, марганцю, кремнію і магнію. Знизу блок має знімний піддон. У гніздах блока з невеликим натягом запресовані чавунні гільзи. Колінчатий вал має два коліна, розведених під кутом

180°. Для підвищення зносостійкості робочі шейки вала цементовані. У блоці вал встановлений у двох підшипниках з антифрикційним zalиванням зі свинцевої бронзи: перший - з боку масляного насоса, а другий - з боку камери сальника.

Третьою додатковою опорою вала є кульковий підшипник, що сприймає масу маховика 31 кг. Корінний підшипник з боку масляного насоса зроблений у вигляді нерозрізаної втулки і запресований безпосередньо в блок. Середній корінний підшипник запресований у кришку, що закріплена всередині блока.

Зверху блок закритий двома голівками циліндрів, що у свою чергу закриті кришками. По торцях до блоку прикріплені нагнітальний і усмоктувальний вентиля. Біля масляного насоса в блок умонтований редуційний клапан, за допомогою якого встановлюється необхідний тиск мастила в системі. Контроль за рівнем мастила можна вести через мірне скло.

Місце виходу колінчатого вала з блока компресора ущільнено спеціальним сальником. Забір мастила з мастильної ванни в систему здійснюється через спеціальний мастилоприймальний фільтр.

Шатун і поршень виготовлені з алюмінієвого сплаву. Кожен поршень має два компресійних і одне маслоснімальне кільце.

Стиск пари хладона-12 у компресорі можливий лише тоді, коли між поршнем і гільзою циліндра немає зазора. Виконати цю умову без додаткових деталей не можна, тому що при роботі поршень нагрівається і, збільшившись у розмірі, може заклинитися в гільзі циліндра.

Для ущільнення на поршень надягають спеціальні кільця, що поділяються на компресійні і мастилознімальні. Зроблені кільця з термічно обробленого для пружності чавуна. У перерізі компресійні кільця мають форму неправильної трапеції, гострий скіс якої звернений униз.

На спідниці поршня встановлено одне мастилознімальне кільце, що конструктивно відрізняється від компресійних. По твірній цього кільця прорізана канавка з наскрізними щілинами. Це кільце знімає з робочої поверхні циліндра надлишки мастила і скидає їх у мастильну ванну.

Чавун, з якого зроблені кільця, більш твердий, ніж чавун циліндрової гільзи. Це забезпечує довговічність кілець і гільзи.

Клапани компресора поділяються на всмоктувальний (пропускає пару хладона з повітроохолоджувача в компресор) і нагнітальний (пропускає стиснуту у компресорі пару в нагнітальний трубопровід, що веде в конденсатор). Робота клапанів автоматично узгоджена з рухом поршня.

Всмоктувальний і нагнітальний клапани компресора типу V для компактності сполучені в одному вузлі.

Дія клапанів під час всмоктування і нагнітання цілком залежить від тиску, створюваного поршнем у циліндрі. Для пропуску хладона в той чи інший бік досить пластинам відійти від своїх сідел усього на 1 мм.

Змащення тертьових поверхонь компресора примусове за допомогою пошестереного мастильного насоса із приводом від торця колінчатого вала.

Система змащення компресора типу V працює в такий спосіб. Мастило з мастильної ванни через приймальний масляний фільтр засмоктується пошестереним насосом в магістраль, на вході в яку розташований клапан надлишкового тиску. Він відрегульований на 0,3 МПа і перепускає надлишок мастила назад у ванну в обхід магістралі.

Основна кількість мастила пошестереним насосом нагнітається в масляний канал, просвердлений уздовж колінчатого вала, і по радіальних каналах на шатунних шейках підводиться до робочих поверхонь шатунних підшипників. Далі частина мастила по отвору стрижня шатуна попадає на змащення верхнього головного підшипника, а частина під тиском викидається в порожнину картера через зазор між шатунним підшипником і шейкою колінчатого вала.

Кількість мастила, що залишилася, по обвідній трубці надходить в порожнину сальника. Контролюється тиск мастила за манометром, а рівень його в масляній ванні – за мірним склом.

ЗМІСТ

Лекція 1. Стислі історичні відомості про розвиток холодильної техніки	3
Лекція 2. Загальні відомості про кондиціонування повітря	11
Лекція 3. Теплотехнічна характеристика кузова вагона	17
Лекція 4. Вентиляція повітря у пасажирських вагонах	28
Лекція 5. Охолодження повітря у пасажирських вагонах	38
Лекція 6. Конструкція компресорів	53

