

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ
ТЕХНОЛОГІЙ



ПОДМАЗКО О.С., ПІЩАНСЬКА Н.О.

СУДНОВА ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

ОДЕСА 2020

Укладачі: доц., к.т.н. Подмазко О.С.
доц.,к.т.н. Піщанська Н.О.

Рецензент проф..Мілованов В.І.

Методичні вказівки розглянуті
на засіданні кафедри холодильних установок і кондиціонування
повітря та запропоновані до видання.
Протокол № від березня 2020 р.

Зав. кафедрою холодильних установок
і кондиціонування повітря проф. Хмельнюк М.Г.

ЗМІСТ

1. ВОДНИЙ ХОЛОДИЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ.....	4
2. Охолоджувальні системи рефрижераторних трюмів.....	9
3. ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТАНКЕРІВ-ГАЗОВОЗІВ.....	10
4. РЕФРИЖЕРАТОРНІ КОНТЕЙНЕРИ.....	15
5. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРИПЛИВІВ ЧЕРЕЗ ОГОРОДЖЕННЯ З ТЕПЛОВИМИ МІСТКАМИ.....	28
6. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОПРИПЛИВІВ ЧЕРЕЗ ЗАХИСНІ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	45
7. МОРОЗИЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ.....	48
8 СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	59

1. ВОДНИЙ ХОЛОДИЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

Водний холодильний транспорт використовують у рибній промисловості (холодильна обробка морепродуктів у місцях їх добування і транспортування до стаціонарних холодильних підприємств).

Рефрижераторні судна за цільовими призначеннями класифікують так:

- добувні або промислові, призначені для охолодження та заморожування морепродуктів;
- обробні, призначені для приймання від добувних суден морепродуктів, заморожування й переробки;
- транспортні, призначені для приймання з добувних та обробних суден на промислах та з берегових підприємств заморожених і охолоджених морепродуктів та доставки їх у базові порти. Такі судна належать до універсальних суден-холодильників.

На сучасних рефрижераторних судах місткість охолоджуваних трюмів досягає 2500 м^3 (на риболовно-морозильних), 9000 м^3 (на виробничих та виробничо-транспортних), $23\,000 \text{ м}^3$ (на плавучих базах і виробничо-транспортних). Температура повітря у трюмах становить $0 \dots -30 \text{ }^\circ\text{C}$.

З метою зменшення експлуатаційних витрат, зумовлених зовнішніми тепло припливами, вантажні приміщення розташовують, як правило, у носовій частині, а машинні відділення і службові приміщення — в кормовій частині. Машинні відділення холодильної установки розташовують в окремих газонепроникних відсіках, які мають легко сполучатися з відкритою палубою. Коефіцієнт теплопередачі огорожувальної конструкції повинен бути не більшим ніж $0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Робочою речовиною холодильних машин є R22 та аміак. Тому машинні відділення обладнують аварійною вентиляцією, яка забезпечує 40—кратний обмін повітря за 1 год. при використанні аміаку та 20—кратний — для фреонів.

Застосування R22 та R502 дає змогу істотно спростити систему охолодження, відмовившись від вторинних холодоносіїв (для трюмів місткістю не більше 200 м³).

До суднових холодильних установок ставлять підвищені вимоги, регламентовані правилами міжнародних класифікаційних товариств, наприклад Морським реєстром. Так, кожна холодильна установка має складатися мінімум з двох холодильних агрегатів. При цьому один агрегат повинен забезпечувати підтримання заданих параметрів у охолоджуваніх приміщеннях при роботі протягом 24 годин у будь-якому районі плавання судна.

Холодильні машини й апарати виготовляють з урахуванням специфіки роботи в морських умовах, вони мають системи аварійного зливання холодоагенту за борт.

Системи охолодження з проміжним холодоносієм виконують лише закритого типу. Холодоносієм служить водяний розчин хлориду кальцію. Як прилади охолодження використовують батареї і повітроохолоджувачі. Батареї можуть бути гладкотрубними, оребреними та панельними.

Застосування панельних приладів охолодження дозволяє створити безперервний охолоджувальний контур для трюмів та твіндеків судна (рис. 1.1). Забезпечуючи створення рівномірного температурного поля у вантажних приміщеннях та перехоплення зовнішніх тепло припливів, панельні прилади охолодження недостатньо ефективно відводять внутрішні тепло припливи і мають підвищену металомісткість.

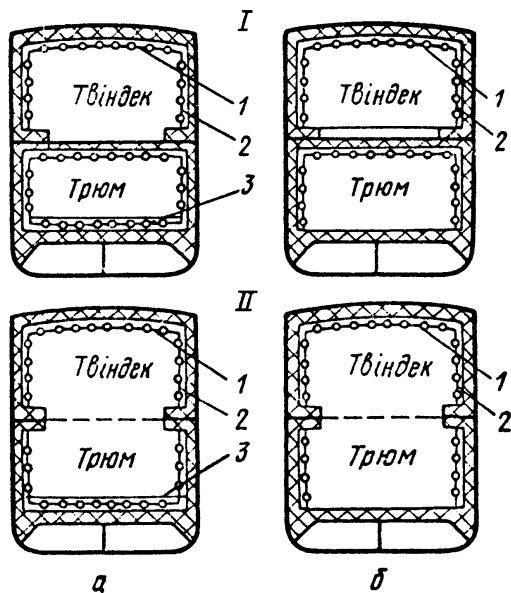


Рис. 1.1 — Схема екранування охолоджуваних приміщень:
 I — трюм і твіндек, охолоджувані окремо; II — трюм і твіндек,
 охолоджувані сумісно; а — трюм з повним екрануванням; б — трюм
 з неповним екрануванням; 1 — стельові панелі; 2 — бортові і
 перебіркові

Використання повітроохолоджувачів на суднах дає можливість інтенсивно охолоджувати продукти безпосередньо у трюмах і твіндеках.

Повітряні системи охолодження відрізняються переважно способом розподілення повітря у вантажних приміщеннях. Найбільш широко застосовують систему з вихідним потоком повітря, яке подається у приміщення через вантажні ґрати, що відіграють роль повітроводів. Однак при високій щільності розміщення вантажів у приміщеннях важко домогтися ефективного розподілення потоків повітря, що призводить до збільшення часу охолодження продуктів. Як правило, кратність циркуляції повітря у приміщеннях підтримують на рівні 40 — 50 для заморожених продуктів та 100 — 120 об'ємів за годину для продуктів, що потребують інтенсивного охолодження й заморожування.

Призначення водяного транспорту:

• зв'язує між собою холодильні підприємства, що знаходяться на вузлах водних шляхів усередині країни (перевезення вантажів водним транспортом — найдешевше);

• виконує зовнішньоторговельні операції;

• виконує видобувні, виробничі і транспортні операції в рибній промисловості.

Класифікація рефрижераторних судів рибної промисловості за цільовим призначенням:

• добувні або промислові, призначені для здобичі, охолодження або заморожування здобутих морепродуктів;

• оброблювальні або виробничі, призначені для прийому від добувних судів морепродуктів, заморожування і переробки їх;

• транспортні, призначені для прийому з добувних і оброблювальних судів на промислах і з берегових підприємств заморожених і охолоджених морепродуктів і доставки їх в базові порти. Їх відносять до судів — універсальних холодильників;

• судна з суміщеними функціями, наприклад, виробничі, транспортні, рефрижератори.

Об'єм рефрижераторних трюмів досягає:

• 3500 м³ на риболовних морозильних траулерах;

• 9000 м³ на виробничих і виробничо-транспортних судах;

• 23000 м³ на транспортних рефрижераторах і плавучих базах.

Температура повітря в трюмах (0... —30) °С.

Холодильне устаткування рефрижераторних судів. Вимоги, що пред'являються до нього.

Швидкопсувні продукти (товарні) перевозять в трюмах і твіндеках, а продукти харчування команди і пасажирів — в провізійних камерах всі охолоджувані приміщення добре ізольовані і обладнані батареями або повітроохолоджувачами.

Компресори, основні і допоміжні апарати холодильних машин, насоси та інше знаходяться в рефрижераторних машинних відділеннях.

На рефрижераторних судах можуть бути швидко морозильні апарати і льодогенератори.

До суднових холодильних установок пред'являють підвищені вимоги, регламентовані правилами міжнародних класифікаційних суспільств, наприклад, Морським Регістром, відповідно до специфіки морських умов:

- холодильна установка рефрижераторних судів повинна складатися мінімум з 2-х компресорних агрегатів, причому умови специфікацій в трюмах повинні забезпечуватися при 24-х годинній роботі холодильних машин в добу при одному вимкненому агрегаті, а також швидке охолодження трюмів перед завантаженням;

- використовувані компресори повинні бути високонадійними і малогабаритними: це гвинтові, а також високооборотні багатациліндрові поршневі компресори з поглибленим картером — одно- і двоступінчатого стиснення;

- осі компресорів насосів, і горизонтальних апаратів повинні встановлюватися уздовж осі судна, оскільки крен судна — до 45° , а диферент — до 15° і частота бортової хитавиці вище, ніж подовжньої. При такій установці зменшується знос підшипників унаслідок гіроскопічного ефекту, менше обурення рівня рідини в апаратах;

- кожухо трубні конденсатори і лінійні ресивери повинні мати 2 патрубки зливу рідини в протилежних частинах обичайки, ресивери мають поперечні перегородки для гасіння ударів і зменшення поверхні вільного рівня;

- для захисту від корозії з боку морської води конденсатори забезпечуються протекторами, для виготовлення їх застосовують морську латунь, біметалічні трубні ґрати;

- передбачаються системи аварійного зливу холодоагенту за борт, перепускання агенту з конденсатора у випарник (при ремонті);

- для аміачних машинних відділень повинні бути передбачені герметичні двері, водяні завіси, водяне зрошування машинних відділень;

- при використанні аміаку заборонені охолоджуючі системи безпосереднього випаровування, дозволені системи розсолів (CaCl_2) закритого типу;

- у з'єднаннях трубопроводів, арматури та іншого не повинні з'являтися течі і пропуски при вібраціях;

- не повинна знижуватися безпека судна при проході трубопроводів через водонепроникні перегородки;
- холодильна установка повинна мати дві незалежні системи електроживлення (вартість вантажу часто перевищує вартість судна!).

В даний час на риболовецьких і транспортних судах при $t_0 = -45\text{ }^\circ\text{C}$ широко використовують одноступінчаті холодильні установки на R22 з гвинтовими і поршневыми компресорами.

2. Охолоджувальні системи рефрижераторних трюмів

При охолодженні (холодоагенти NH_3 , R22) розсолу в трюмах застосовують *гладкотрубні батареї*, оскільки ребрені заборонені Регістром. Їх розташовують уздовж бортів і подволака в 2 ряди, оскільки гладкотрубна поверхня малорозвинена з боку повітря.

На сучасних судах замість батарейної системи застосовують *панельну* (розроблену на нашій кафедрі), що має наступні переваги перед батарейною (дані для виробничих рефрижераторів типу "Алтай"):

- вартість виготовлення і монтажу панельних батарей на 40 % нижча, ніж гладкотрубних; оскільки немає обшивки трюму.
- зменшення витрати енергії на вироблення холоду на (12...13) % (енергія — це паливо, яке перевозять!)
- збільшення об'єму трюмів на 5 %, тобто збільшення прибутковості судна.

Експлуатаційні переваги панельної системи охолодження:

- рівномірне температурне поле в об'ємі трюму;
- швидше входження трюму в режим (і охолодження перед завантаженням);
- збереження ізоляції (захист від зволоження);
- хороший санітарний стан трюму;
- зменшення усихання продуктів, що зберігаються, унаслідок створення безперервного теплозахисту трюмів і твиндеків.

Недоліки панельної системи:

- малоефективне відведення внутрішніх теплоприливів;

• підвищена металоємність (в порівнянні з повітроохолоджувачами).

Повітряна система охолодження трюмів застосовується на сучасних рефрижераторах універсального призначення з холодильними установками на R22.

Повітроохолоджувачі безпосереднього випаровування встановлюють в спеціальних вигородках поряд з трюмом.

Охоложене повітря з них подається під вантажні ґрати трюму, так що він омиває продукт від низу до верху, після чого поступає в повітроохолоджувач.

Повітряна система дозволяє проводити охолодження продуктів безпосередньо в трюмі, має меншу металоємність в порівнянні з панельною, проте істотно програє їй по експлуатаційним енерговитратам.

Крупні транспортні рефрижератори з повітряною системою охолодження трюмів обладнують децентралізованими машинними відділеннями, які влаштовують в невеликих приміщеннях на верхній палубі над трюмами.

3. ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТАНКЕРІВ-ГАЗОВОЗІВ

Для транспортування скраплених газів використовують танкери-газовози трьох типів:

- танкери з резервуарами (танками), в яких величина тиску дорівнює тиску насичення при температурі навколишнього середовища — напорні газів;

- танкери з теплоізольованими резервуарами, в яких підтримується знижений тиск (0,3 ÷ 0,6 МПа) і знижені температури (—5 ÷ +5 °С). У зв'язку з комбінованим способом транспортування танкери-газовози цього типу називають напіврефрижераторами;

- танкери з теплоізольованими резервуарами під тиском, близьким до атмосферного, в яких скраплені гази транспортуються при низьких температурах (пропан та аміак — —40 °С; етилен — —100°С; скраплений природний газ — —161 °С) у рідкому стані, називають рефрижераторними танкерними газовозами.

Установки повторного скраплення (реконденсації) газів можна розподілити на три групи:

- установки прямого (безпосереднього) зрідження;
- установки з непрямим охолодженням;
- установки комбіновані (каскадні).

Вибір типу установки залежить від фізико-хімічних і термодинамічних властивостей речовин (вантажів), від необхідної величини вантажної місткості газозову, а також від спеціалізації судна за типом вантажів, що належать до транспортування.

Установки реконденсації, які працюють за прямою схемою скраплення, застосовують на танкерах-газовозах місткістю до 75 тис. м³ для перевезень метану і танкерах-газовозах з вантажною місткістю до 12 ÷ 15 тис. м³ для перевезень скраплених нафтових газів та аміаку.

Установки реконденсації, що працюють за непрямую схемою скраплення, застосовують на танкерах-етиленовозах невеликої місткості.

На універсальних багатоцільових танкерах-газовозах, що мають вантажну місткість від 12 ÷ 15 тис.м³ до 125 тис. м³ і більше, застосовують комбіновані схеми скраплення.

Усі установки повторного скраплення газів розподіляються на три групи залежно від температурного рівня скраплення :

- температурний рівень $t = -42\text{ }^{\circ}\text{C}$, при якому підлягають скрапленню бутан, бутадієн, моновінілхлорид, пропан, пропілен і аміак.

- температурний рівень $t = -104\text{ }^{\circ}\text{C}$, при якому скрапленню підлягають етилен і етан.

- температурний рівень $t = -163\text{ }^{\circ}\text{C}$, при якому скрапленню підлягає метан.

Установки прямого скраплення газів. Простішу схему установки прямого скраплення (безпосередньої конденсації) подано на рис. 14.22.

Газ, який випаровується у вантажному танку 1, проходить через віддільник рідини ВР, всмоктується компресором 2 і нагнітається 3 до конденсатора КК, що охолоджується забортною водою. Застосування віддільника рідини забезпечує захист компресора від гідравлічного удару. Після скраплення сконденсований газ надходить з конденсатора 4 до ресивера Р,

звідки через регулювальний вентиль дроселюється 5 до вантажного танку.

Витрата скрапленого газу, який подається крізь дросельний вентиль, регулюється залежно від рівня рідини у ресивері.

Ця схема досить компактна, характеризується низькими витратами коштів, але має деякі суттєві недоліки.

Мастило компресора забруднює вантажі (скраплені гази), що транспортуються. Наявність летких компонентів викликає підвищення тиску і температури нагнітання. Рідкі фракції компонентів, які потрапляють до картера компресора, розводять змащувальне мастило.

Деякі вуглеводні (бутадиєн) утворюють смолисті осад, який збирається особливо інтенсивно при зміні виду скрапленого газу у танку. Ці забруднення негативно впливають на роботу приладів автоматики, засмічують арматуру.

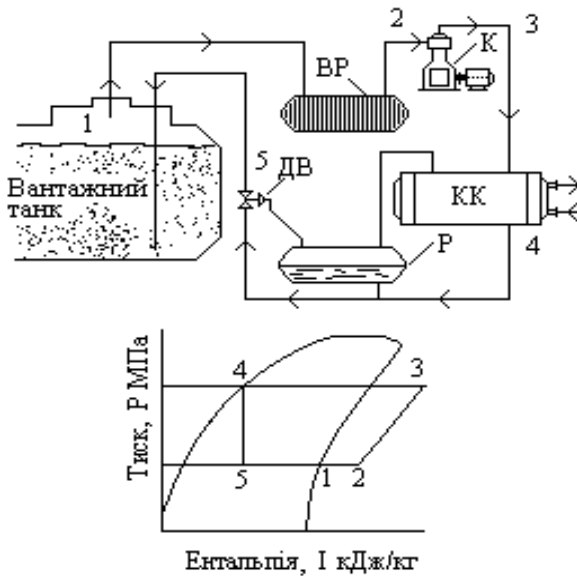


Рис. 3.1 — Схема установки для непосредственной реконденсации газов

Установки непрямого скрапления газов.

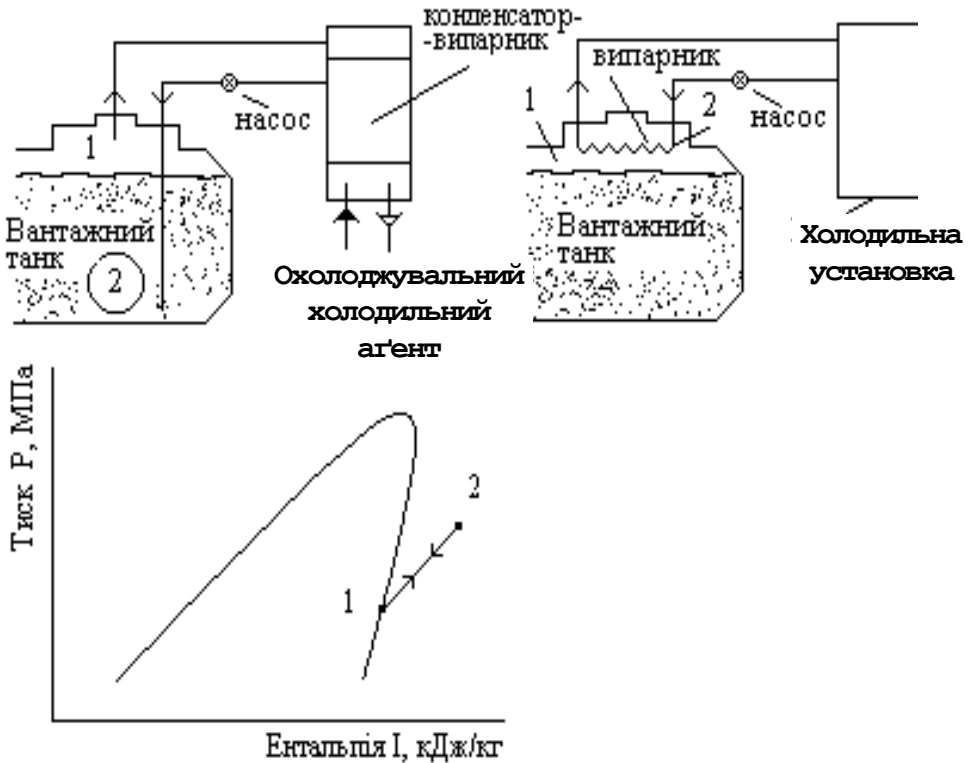


Рис. 3.2 — Схеми установок для непрямого скраплення (реконденсації) газів

Установки непрямого скраплення газів (рис. 3.2) застосовуються для вантажів (газів), які не можна стискувати у компресорах у зв'язку з їх певними хімічними властивостями. При використанні установок цього типу газ, що випаровується у вантажних танках 1, під його власним тиском конденсується у випарниках звичайних, як правило фреонових, холодильних машин, звідки він повертається до вантажних танків за допомогою насосів або під власним тиском. Відповідну схему подано на рис. 3.2.

Ця схема надійно забезпечує збереження вантажів (газів) у процесі перевезень і дозволяє одночасно обслуговувати танки з різнорідними газами (наприклад, з пропаном і бутаном).

Однак у той самий час ця схема потребує значних додаткових витрат на обладнання та експлуатаційні заходи, які зумовлені

необхідністю працювати з температурою кипіння холодильного агенту, нижчою, ніж температура вантажів у танках.

Установки каскадні (комбіновані) для скраплення газів.

Установки цього типу використовують на танкерах-газовозах місткістю від 30 тис.м³ і більше для перевезень скраплених нафтових газів.

Наприклад, при ізотермічному перевезенні етану або етилену (температура конденсації $t_k = -88,5 \text{ }^\circ\text{C}$ і $t_k = -104 \text{ }^\circ\text{C}$ відповідно) верхня гілка каскаду являє собою закритий двоступінчастий пропановий цикл, а нижня гілка каскаду — відкритий двоступінчастий етиленовий цикл.

Використовуються також каскадні схеми, де верхня гілка каскаду працює на R22.

Газ із вантажного танка відсмоктується компресором нижньої гілки каскаду і нагнітається до конденсатора-випарника. За рахунок кипіння R22 газ скраплюється і далі дроселюється до вантажного танка.

Конденсатор верхньої гілки каскаду охолоджується забортною водою, (рис. 3.3).

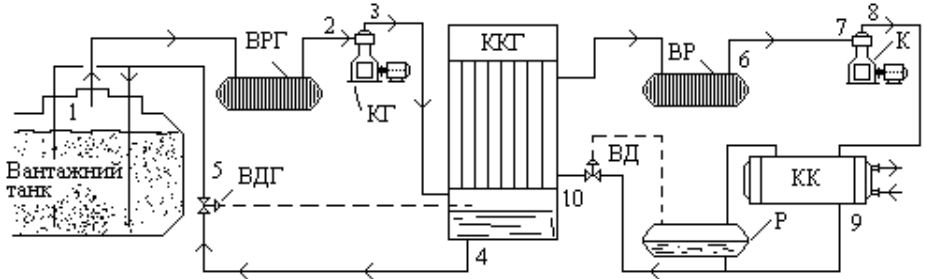


Рис. 3.3 — Каскадна установка для реконденсації газу у вантажних

Головна перевага цієї системи полягає в тому, що на її ефективність температура морської води впливає значно менше, ніж в інших системах. Цикл також є більш ефективним, оскільки температуру R22 в конденсаторі скрапленого нафтового газу можна підтримувати нижчою за $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. РЕФРИЖЕРАТОРНІ КОНТЕЙНЕРИ

Використання рефрижераторних контейнерів, що перевозяться різними видами транспорту без перевантаження продуктів, дозволяє істотно підвищити ефективність холодильного ланцюга. За допомогою контейнерів здійснюють як внутрішні, так і міжнародні транспортні операції. У зв'язку з цим їхні масові, габаритні й конструктивні характеристики регламентуються стандартами Міжнародної організації за стандартів, а також відповідними правилами міжнародних класифікаційних товариств. Так, усі контейнери мають ізольований кузов і підрозділяються на:

- ізоtermічні, що не мають пристроїв для підтримування заданих температур;
- рефрижераторні з холодоагентом, що витрачається (сухий лід, зріджений газ);
- рефрижераторні з індивідуальною компресійною або абсорбційною холодильною установкою;
- рефрижераторні з установкою для охолодження або обігрівання;
- опалювальні з обігрівною установкою.

Залежно від величини внутрішнього об'єму контейнерів їх поділяють на малі — об'ємом до 3 м^3 , середні — об'ємом до 10, великі — об'ємом до 60 м^3 . Найпоширенішими є великовантажні контейнери місткістю від 10 до 40 т. Вони мають однакову ширину (2,3 м) і висоту (2,55 м), відрізняються довжиною (від 3,66 до 12,20 м). Двері контейнера найчастіше розміщують на одній з торцевих стін.

Коефіцієнт теплопередачі кузова має бути не більшим від $0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. У вантажному об'ємі контейнера температура повітря не має перевищувати

— $18 \text{ }^\circ\text{C}$ при температурі навколишнього середовища не нижчій від $38 \text{ }^\circ\text{C}$. Для опалювальних контейнерів температура повітря в кузові повинна бути $16 \text{ }^\circ\text{C}$ при температурі навколишнього середовища — $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

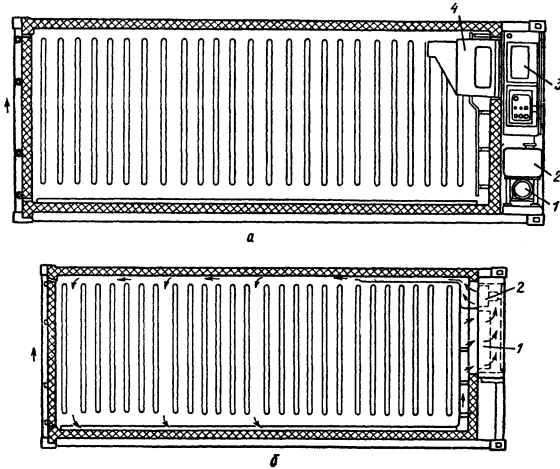
Рефрижераторні контейнери з витрачуванням холодоагентом (сухий лід, рідкий двооксид вуглецю, рідкий азот і евтектичні

аккумулятори-зеротори) використовують головним чином для перевезення на невеликі відстані, бо контейнери не мають запасу охолоджувальної речовини більш ніж на одну добу. Віддаленіші маршрути потребуватимуть створення мережі проміжних станцій для до зарядження контейнерів.

Широко застосовуються контейнери з машинним охолодженням. Холодильне й енергетичне обладнання контейнерів має бути цілком автоматизованим і мати високу надійність. При експлуатації установок передбачають управління процесом видалення покриву інею з поверхні приладів охолодження (повітроохолоджувачів) за сигналом пневмодатчика, що реагує на зміну аеродинамічного опору апарата, зумовленого збільшенням товщини інею. Автоматично переключаються режими роботи (охолодження — отеплення).

За енергоживленням контейнер може бути автономним і неавтономним. Автономні контейнери обладнують двигуном внутрішнього згоряння для безпосереднього привода компресора або генератора електричного струму. Неавтономні контейнери дістають електроживлення від системи енергопостачання того транспортного засобу, яким перевозиться контейнер.

Холодильні машини, що використовуються в контейнерах, агрегатовані і можуть бути вбудованими в контейнер або зйомними, прикріпленими до торцевої стінки (рис. 4.1). Компресори застосовують герметичні або на пів герметичні без зашільників, які працюють на фреонах.



*Рис. 4.1 — Охолоджуваний контейнер з холодильним агрегатом:
 а — охолоджувач повітря всередині контейнера: 1 — мотор-генератор;
 2 — паливний бак; 3 — холодильний підвісний агрегат; 4 —
 повітроохолоджувач;
 б — виносний охолоджувач повітря: 1 — повітроохолоджувач;
 2 — вентилятор; 3 — канал для проходження повітря*

Застосування — для змішаних (тобто декількома видами транспорту по суші і морю) перевезень швидкопсувних продуктів.

Переваги:

- інтенсифікація вантажно-розвантажувальних робіт в (1,5...2) рази;
- скорочення витрат на складські операції в (3...5) раз;
- економія тари;
- значне поліпшення збереження вантажів (велика швидкість доставки без перевантажень)

Недоліки:

- необхідність створення в портах і залізничних станціях складних і дорогих контейнерних терміналів;
- велика маса контейнера з холодильною машиною (приблизно у 2 рази більше маси вантажу).
- велика вартість рефрижераторного контейнера.

Великотоннажні контейнери максимально уніфіковані. Висота і ширина їх дорівнює 8 футам (у нових — висота (8,6...9,6) футів). Довжина контейнерів дорівнює 10, 20, 30 і 40 футів.

Найбільш поширені — 20-футові.

Класифікація:

- ізотермічні без джерел холоду;
- ізотермічні без джерел холоду, опалювальні;
- рефрижераторні з машинним охолодженням;
- рефрижераторні з машинним охолодженням з холодильним агентом, що витрачається (N_2);
- рефрижераторні з машинним охолодженням з холодильно-обогрівальною машиною.

Режим експлуатації контейнерів: $t_n = (-40...45) \text{ } ^\circ\text{C}$

Холодильна установка забезпечує $t_{вн} = (+5...-20) \text{ } ^\circ\text{C}$ при $t_n \leq 45 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Опалювання забезпечує $t_{вн} = 16 \text{ } ^\circ\text{C}$ при $t_n = -40 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Термін служби контейнерів не менше, ніж 10 років.

Кузов контейнера має зварний каркас із зовнішньою обшивкою алюмінієм, сталлю, пластиком. Внутрішня обшивка — гофрована з тих же матеріалів, а також із неіржавіючої сталі.

Ізоляція — пінополіуретанова. Двері — торцеві, 2-х стулкові.

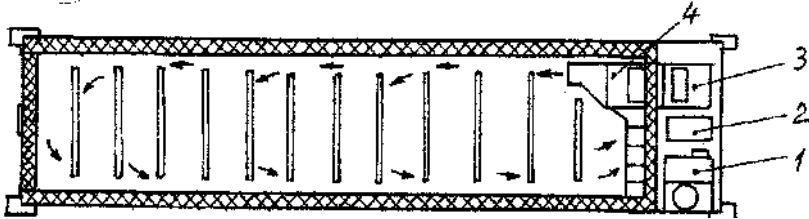


Рис. 4.2 — Схема рефрижераторного контейнера за машинним охолодженням:

1 — мотор-генератор; 2 — пульт управління; 3 — підвісний холодильний агрегат; 4 — повітроохолоджувач

Холодильне устаткування рефрижераторних контейнерів. 90 % всіх контейнерів має машинне охолодження, оскільки воно надійне, універсально і автономно.

Живлення холодильної машини — від дизель-генератора або зовнішньої мережі 220/380 В.

Компресори — беззащільникові або герметичні холодильний агенти: R22, R404A та ін.

Бувають одно-компресорні і двох-компресорні холодильні машини.

У останньому випадку вони двохпотокові, тобто мають 2 теплообмінники, двосекційний конденсатор і повітроохолоджувач.

Управління холодильною машиною повністю автоматизовано, включаючи перемикання режимів роботи (охолодження — опалювання).

Видалення інею з поверхні повітроохолоджувачів ведеться по сигналу пневмодатчика, реагуючого на збільшення аеродинамічного опору апарату при наростанні інею.

Холодильні машини можуть бути вбудованими (як в рефрижераторах) або знімними, які є окремим блоком 8' × 8', каркас яких кріпиться до каркаса контейнера.

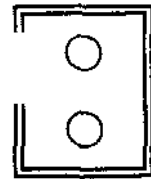
Усередині блоку (шириною ≥ 30 см) знаходиться компресорно-конденсаторний агрегат, повітроохолоджувач, іноді дизель-генератор.

Для подачі і відсмоктування холодного повітря в задній стінці блоку і передній стінці контейнера передбачені 2 однаково розташовані отвори.

Холодопродуктивність холодильної машини:

- для контейнера 40' $Q_0 \approx 5$ кВт
- для контейнера 20' $Q_0 = (3...3,6)$ кВт.

Рис. 4.3



Дизель-генератори (знімні) N = (12...15) кВт

Рефрижераторні контейнери із знімними холодильними агрегатами приєднують на спеціалізованих судах до центральної холодильної установки через повітровідводи — колектори (фірма STAL).

Виготовлювачі рефрижераторних контейнерів: США, Англія, Німеччина, Японія, Швеція і ін. Контейнеровоз - вантажне судно, довжиною приблизно від 70 до 394 м і перевозить приблизно від 250 до 14 тисяч 20-футових (TEU) контейнерів одночасно. У морських

контейнерних перевезеннях в основному використовуються стандартні ISO-контейнери.

Як правило, екіпаж КР складається з 10-26 чоловік, так як такі судна максимально автоматизовані.

Контейнеровоз(КР) - це судно для перевезення контейнерів. Їх поява пов'язана з виникненням універсальної тари - контейнерів. Контейнеровози бувають двох типів: морські та фідерні.

Морські КР, застосовуються в більшій кількості в морських перевезеннях вантажів. Вони здійснюють перевезення вантажів у контейнерах між континентами: Азія - Європа, Північна або Південна Америка - Європа і за іншими маршрутами. Фідерні КР, спеціалізовані на доставці з невеликих портів у великі, в яких всі вантажі консоліднуються і відправляються на морських КР на інші континенти.

Контейнерні перевезення мають величезні обсяги і вони постійно зростають, займаючи перше місце серед інших видів вантажоперевезень. В результаті кількість морських суден для перевезення контейнерів різко зросла.

Вантажні трюми КР обладнані вертикальними напрямляючими які дозволяють завантажувати контейнери строго один на одного і запобігають зміщення їх під час транспортування. Крім внутрішніх відсіків, верхні палуби також призначені для навантаження на них контейнерів. Такий підхід є більш раціональним і збільшує кількість перевезеного вантажу в кілька разів, що знижує вартість доставки.

На палубі на контейнер впливає багатозовнішніх факторів , які можуть завдати шкоди вантажу. Тому їх кріпленню і розміщенню приділяється особлива увага. На вантажній палубі кожен контейнер фіксується спеціальними кріпленнями: ланцюгами, штангами, талерами.

По своїй конструкції трюми КР мають вертикальні напрямні для установки і кріплення контейнерів. Загальний коефіцієнт розкриття палуб становить 80-85 % , що досягається за рахунок пристрою парних або потрійних кришок люків по ширині. Кришки трюмів понтонного типу дозволяють зручно розміщувати контейнери на палубі. Відсутність вантажного пристрою і зрушена надбудова вивільняють всю палубу для розміщення контейнерів. В останні роки на ряді суднів при розміщенні контейнерів на палубі в 4-5 ярусів по висоті між рядами контейнерів робляться опорні стійки, призначені для кріплення контейнерів, що додає велику стійкість всьому штабелю палубних контейнерів.

З огляду на об'єкт дослідження, у ряді регіонів банан є однією з найважливіших вирощуваних культур, поступаючись лише рису, пшениці і кукурудзі.

Світове виробництво бананів зараз досягає 40 мільйонів тонн на рік, причому лідируючими країнами-експортерами є Еквадор, Колумбія, Гондурас, Коста-Ріка і Панама. Для доставки бананів використовують рефрижераторні суда (банановози), які мають довжину близько 200 м і ємкість 450 тис. коробок, або 8,2 тис.

тонни) та рефрижераторні контейнера. Забезпечення правильних умов зберігання бананів при перевезенні - ціла наука.

4.1 Рефрижераторний вантажний контейнер.

Відповідно до сертифікату на вантаж, виданого заводу-посилача і його рекомендаціям по перевезенню фруктів, цей вантаж повинен перевозитися в рефконтейнерах.

Найбільше поширення у світовій практиці отримали РК з посиленою (теплопередачею, що має коефіцієнт, K не більше $0,4$ Вт/кв. м $^{\circ}\text{C}$) або, рідше, нормальною (K не більше $0,7$ Вт/кв. м $^{\circ}\text{C}$)

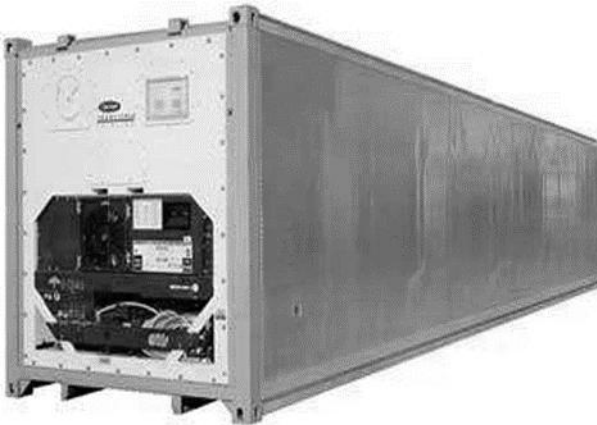


Рисунок 4.4 Рефрижераторний контейнер.

ізоляцією, що мають автономну дизель-генераторну ХУ, що дозволяє при середній температурі зовнішнього повітря $+30^{\circ}\text{C}$ знижувати температуру усередині порожнього контейнера і потім підтримувати її постійно в діапазоні від $+12^{\circ}\text{C}$ до, -20°C (деякі до -25°C).

Ці контейнери призначені для перевезення в них будь-яких ШПВ, при цьому допустима тривалість знаходження в них

продуктів дорівнює часу перевезення на рефрижераторному судні.

РК можуть бути виготовлені сталевими, з легких алюмінієвих сплавів, або комбінованими з металевим каркасом і панелями з клеєної фанери або полімерних матеріалів.

ХУ може бути стаціонарно-вбудованою (розміщеною в спеціальному відсіку, що входить в габаритні розміри контейнера і знаходиться навпроти торцевих дверей) або знімно-навісною(рідше). У останньому випадку при перевезенні на судах, що мають централізовану холодильну установку, вони знімаються (відключаються) з метою економії - потужніші суднові установки значно економічніші за автономні.

До РК відносяться: РК з хладагентом, що витрачається; РК з машинним охолодженням; опалюваний контейнер; рефрижераторний і опалюваний контейнер.

4.2 Облаштування РК.

Рефрижераторний контейнер - це устаткування призначене для транспортування товарів і продуктів, вимогливих до температурного режиму і вологості зберігання.

Враховуючи, що існують вимоги по мінімізації місця, яке займає ХУ, труби, дроти і панель управління часто просто видно зовні.

На контейнер діє багато зовнішніх джерел тепла.

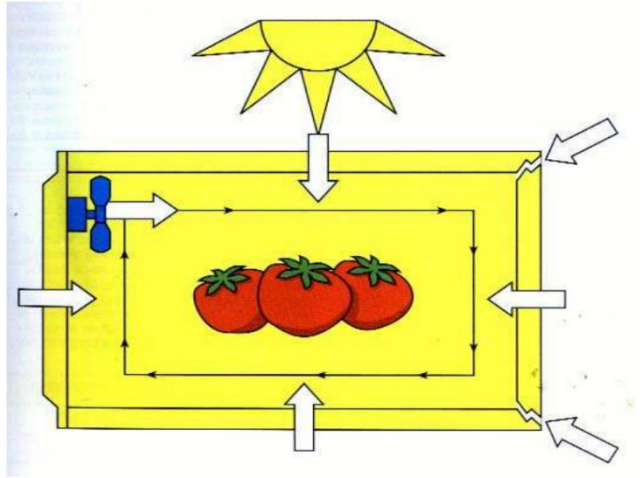


Рисунок 4.5. Джерела тепла, які мають бути видалені.

- тепло, що поступає через ізоляцію зовні.
- тепло, отримване від сонця або дорожньої поверхні.
- тепло від респірації продуктів.
- додаткове тепло, що утворюється вентилятором і в результаті іншого витoku повітря.
- тепло від роботи вентилятора випарника і двигунів.
- тепло від внутрішніх освітлювачів.

Під час циркуляції повітря, залежно від встановлених параметрів, нагріває або охолоджує внутрішній об'єм контейнера, забезпечуючи, таким чином, температуру і вологість, необхідні для

підтримки встановленого режиму зберігання ШПВ (рис. 4.6).

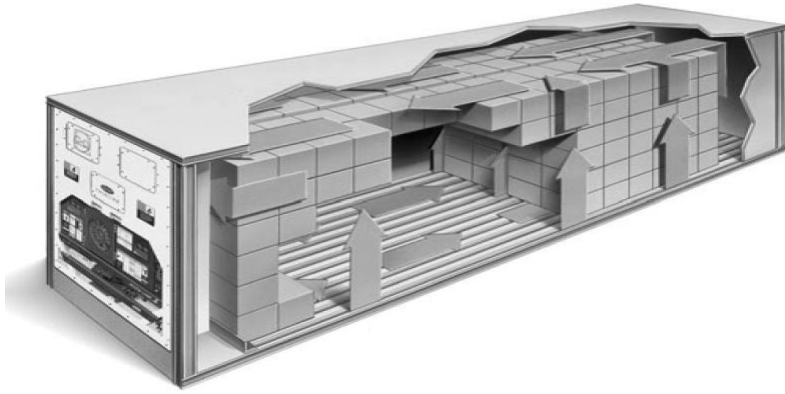


Рисунок 4.7. Схема переміщення холодного повітря усередині рефконтейнера.

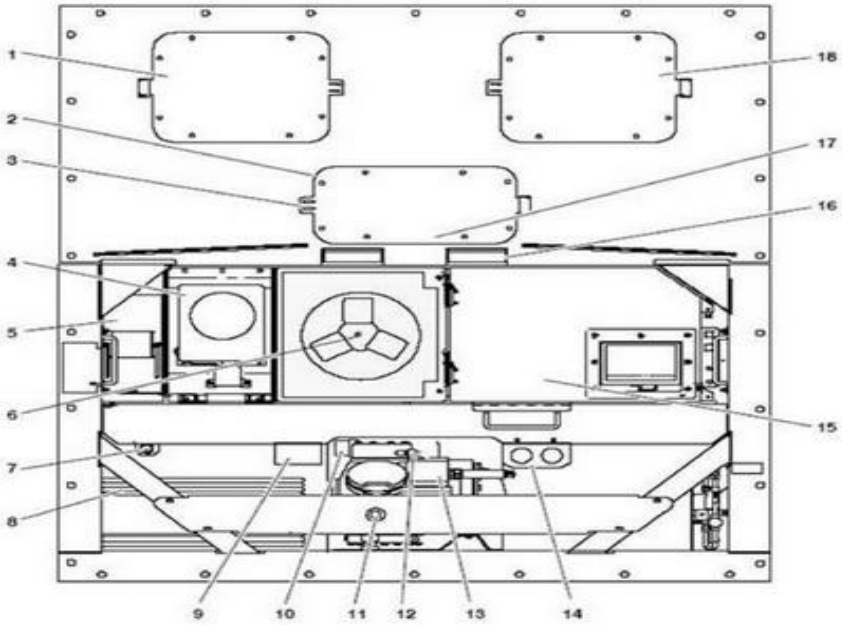


Рисунок 4.8 Схема розташування агрегатів на рефконтейнері типу CARRIER Microlink I, Microlink

1. Знімна (сервісна) панель мотору випарника № 2.
2. Сервісна панель нагрівачів. 3. Місце пломбування.
4. Термограф. 5. Клапан припливної вентиляції.
6. Мотор конденсатора.
7. Дистанційний роз'єм.
8. Кабель і штекер живлення. 9. Ідентифікаційна таблиця.
10. Нагнітальний сервісний вентиль.
11. Оглядове скло компресора.
12. Датчик високого тиску.
13. Компресор.
14. Манометри тиску всмоктування і нагнітання. 15. Блок управління. 16. Монтажні проушини. 17. ТРВ. 18. Знімна панель (сервісна) мотору випарника № 1.

Деякі моделі агрегатів забезпечені двошвидкісним компресором, який служить для підвищення безпеки від напруги. Рефконтейнер забезпечений шести циліндровим поршневым напівгерметичним компресором. Деякі моделі компресорів рефконтейнера забезпечені ТЭНами, для підігрівання олії в картері компресора. Певні моделі компресорів РК забезпечені манометрами, показуючі значення тисків всмоктування і нагнітання.

Існують рефконтейнерні агрегати яких розроблені для використання подвійної напруги живлячої електричної мережі,

тобто для роботи при напрузі 190/230 В або 380/460 В, мають 3 фази, сила струму 50-60 Гц. Інші агрегати РК розроблені для напруги тільки 380/460 В, мають 3 фази, сила струму 50-60 Гц. Для роботи при напрузі 190/230В РК має бути забезпечений зовнішнім знижувальним трансформатором. Контроль потужності забезпечується контролюючим трансформатором, який знижує високу напругу джерела змінного струму, до 18 і 24 В, а також контролем напруги кожної фази.

Температурним контроллером/кодувальник даних рефконтейнера (Micro - Link2) є контролюючий пристрій на основі мікропроцесора і вбудованим електронним обладнанням реєстрації даних. При установці певного значення температури на контроллері, РК автоматично перебудовується для того, щоб досягти заданої температури, впродовж кротчайшого часу. Потік повітря з певною температурою подається з рефрижераторного агрегату всередину РК на рівні підлоги, потім проходить уздовж Т-подібних профілів підлоги, у кінці рефконтейнера піднімається уздовж дверей до стелі і вже уздовж стелі повертається в рефрижераторний агрегат. Під час циркуляції повітря, залежно від встановлених параметрів, нагріває або охолоджує внутрішній об'єм РК, забезпечуючи таким чином температуру і вологість, необхідні для підтримки встановленого режиму зберігання товару. Рефрижераторний агрегат, розміщений в торці корпусу, підтримує в автоматичному режимі всередині контейнера задану температуру в

діапазоні від +25С до -25С. Живлення здійснюється від 3-х фазній електричній мережі з напругою 380V/50 Гц, споживана потужність знаходиться в межах від 4-х до 6 кВт, залежно від встановленого температурного режиму. Контролююча система автоматично вибирає нагрів, охолодження або заморожування, для досягнення заданої температури в контейнері. Холодильні установки рефконтейнеров випускаються в США, Китаї, Малайзії. Основними виробниками є Carrier Transcold, ThermoKing, Daikin, Sabroe, Mitsubishi, Seacold.

5. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРИПЛИВІВ ЧЕРЕЗ ОГОРОДЖЕННЯ З ТЕПЛОВИМИ МІСТКАМИ

Для збільшення міцності і жорсткості кузовів транспортних засобів, а також малих охолоджуваних камер, в ізоляційну конструкцію їх вводять силові елементи, коефіцієнти теплопровідності яких значно вище, ніж у ізоляційних матеріалів. Також включення в ізоляцію називають тепловими містками.

Включення роблять і в ізоляцію підлоги камер при недостатній механічній міцності ізоляційних матеріалів.

У плоскій огорожі без включень ізотерми паралельні поверхням (рис. 5.1).

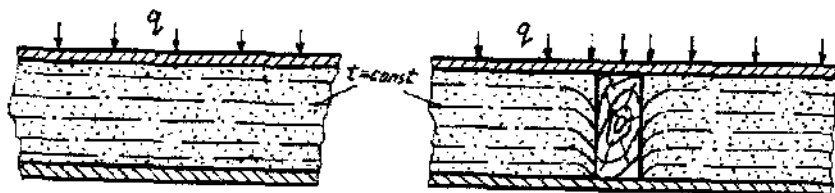


Рис. 5.1 — Схема розміщення ізотерм в огороженнях

За наявності включень ізотерми скривлюються поблизу включень; відбувається також збільшення щільності теплового потоку поблизу включень.

Якщо $\frac{\lambda_{вкл}}{\lambda_{із}} < 10$, то в практичних розрахунках не враховують викривлення ізотерм в районі теплових містків і використовують 2 методи розрахунку такої ізоляційної конструкції.

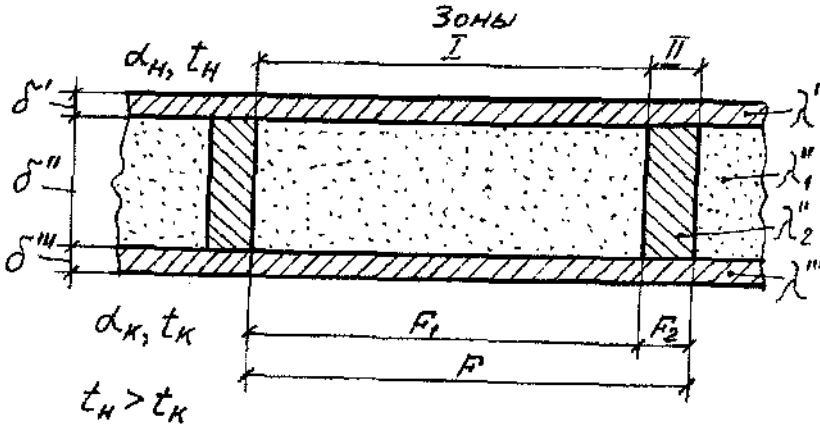


Рис. 5.2 — Розрахункова схема огороження з тепловими містками

1. Зонний метод.

Ізоляційна конструкція розбивається на зони уявними абсолютно нетеплопровідними і тонкими перегородками ($\lambda = 0, \delta = 0$) перпендикулярними поверхні огорож, як показано на рис. 14.30.

Тоді ізотерми в зонах паралельні зовнішній поверхні, але зміщені.

Виділимо розрахунковий елемент, площею $F = F_1 + F_2$.

Тоді:

$$Q_{1cn} = K_{1cn} \cdot F \cdot (t_H - t_K),$$

$$\text{де } K_{1cn} = \frac{K_1 \cdot F_1 + K_2 \cdot F_2}{F};$$

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{\delta''}{\lambda_1''} + \frac{\delta''' }{\lambda''' } + \frac{1}{\alpha_k}};$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{\delta''}{\lambda_2''} + \frac{\delta''' }{\lambda''' } + \frac{1}{\alpha_k}};$$

Метод дає занижені значення K_{1cn} у порівнянні з реальними.

2. Пошаровий метод.

Огорожу в думках розділяють на шари абсолютно теплопровідними мембранами ($\lambda = \infty$, $\delta = 0$), паралельними поверхні огорожі.

По мембранам, розташованим між шарами, тепловий потік перерозподіляється. У кожному шарі ізотерми паралельні одна одній.

$$Q_{2cn} = K_{2cn} \cdot F \cdot (t_{зов} - t_k),$$

де

$$K_{2cn} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{\delta'}{\lambda'} + \frac{\delta'' \cdot F}{\lambda_1'' \cdot F_1 + \lambda_2'' \cdot F_2} + \frac{\delta''' }{\lambda''' } + \frac{1}{\alpha_k}};$$

Пошаровий метод дає завищені значення K_{2cn} в порівнянні з реальними.

У наближених розрахунках користуються 1-м методом, як найнаближеним до фізичної картини.

При $\frac{\lambda_{вкл}}{\lambda_{уз}} = 5 \dots 10$ користуються 1 і 2 способами, а потім

обчислюють середнє значення:

$$\bar{K} = 0,5 \cdot (K_{1cn} + K_{2cn})$$

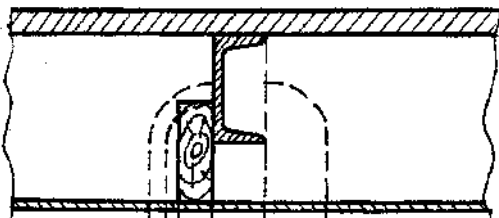


Рис. 5.3 — Схема розбиття на зони судової та ізоляційної конструкції

У судовій ізоляції включення сталеві, $\lambda_{\text{ст}} \approx 1000 \lambda_{\text{із}}$. В цьому випадку використовують складніший зонний метод кругових потоків (автори Нельсон, Ніточкін).

У зонах 2, 4 і 5 лінії теплових потоків — дуги кіл, тобто q змінюється в межах кожної зони.

Існують і інші методи (еліптичних потоків, електротеплової аналогії та ін.), описані в книгах з судової ізоляції.

Теплові розрахунки ізотермічних кузовів.

Загальне рівняння теплового балансу ізотермічного кузова авторефрижератора:

$$Q_0 = N_{\text{ВЕНТ}} + Q_3 + Q_{\text{АК}} + Q_{\text{АП}} + Q_{\text{П}},$$

де Q_0 — тепло, яке поглинається джерелом холоду чи яке віддається джерелом холоду, Вт; $N_{\text{ВЕНТ}}$ — тепло, що виділяється вентиляторами кузова, Вт; Q_3 — теплоприпливи з навколишнього середовища, Вт:

$$Q_3 = 1,1 \cdot (N_{\text{ВЕНТ}} + Q_{\text{ОГОР}} + Q_{\text{С}} + Q_{\text{І}} + Q_{\text{ДВ}}),$$

1,1 — коефіцієнт, який враховує непередбачені втрати; $Q_{\text{ОГОР}}$ — теплоприпливи через огороження кузовів, Вт:

$$Q_{\text{ОГОР}} = k \cdot F_{\text{СЕР}} \cdot (t_3 - t_{\text{ВН}}),$$

k — загальний коефіцієнт теплопередачі кузова, Вт/(м²·К); $F_{\text{СЕР}}$ — середня площа поверхні огорожень кузова, м²:

$$F_{\text{СЕР}} = (F_3 \cdot F_{\text{ВН}})^{1/2},$$

F_3 — площа зовнішньої поверхні кузова, м^2 ; F_{BH} — площа внутрішньої поверхні кузова, м^2 ;

t_3 — середня зовнішня температура, $^{\circ}\text{C}$; t_{BH} — середня внутрішня температура, $^{\circ}\text{C}$;

Q_C — втрати холоду від впливу сонячної радіації, Вт:

$$Q_C = 0,5 \cdot k \cdot F_3 \cdot \Delta t_C \cdot \tau_C / 24,$$

Δt_C — підвищення температури зовнішньої поверхні кузова над температурою зовнішньої середовища при сонячній радіації, $^{\circ}\text{C}$; τ_C — тривалість сонячної радіації, год./добу;

Q_I — втрати холоду внаслідок інфільтрації, повітря, Вт:

$$Q_I = n \cdot V_{\text{КУЗ}} \cdot (h_3 - h_{BH}) \cdot \rho / 3,6,$$

n — коефіцієнт, який вказує на те, яка частина об'єму повітря в кузові замінюється (залежить від щільності кузова і визначається експериментально. Орієнтовно $n = 0,8$); $V_{\text{КУЗ}}$ — внутрішній об'єм кузова, м^3 ; h_3 і h_{BH} — ентальпії повітря зовні і всередині кузова, кДж/кг ; ρ — щільність зовнішнього повітря, кг/м^3 ;

$Q_{ДВ}$ — витрата холоду при відкриванні дверей, Вт:

$$Q_{ДВ} = q_{ДВ} \cdot (t_3 - t_{BH}) \cdot \tau_{ДВ} / (60 \cdot \tau_p),$$

$q_{ДВ}$ — питома витрата холоду при відкриванні дверей (рис. 5.3),

Вт/К; $\tau_{ДВ}$ — тривалість перебування дверей відкритою, хв.; τ_p — тривалість рейсу, год.;

Q_{AK} — тепло, яке було закумуляоване теплоізоляцією і каркасом кузова при його охолодженні на Δt ($^{\circ}\text{C}$) за час $\Delta \tau$ (год.):

$$Q_{AK} = W_K \cdot \Delta t / (7,2 \cdot \Delta \tau),$$

W_K — водяний еквівалент ізоляції, кДж/К :

$$W_K = \Sigma (G_K \cdot c_K),$$

G_K — маса ізоляційного матеріалу чи елемента каркаса, кг; c_K — питома теплоємність відповідного матеріалу, кДж/(кг·К);
 $Q_{АП}$ — тепло, яке було закумуляоване харчовими продуктами та упаковкою при змінінні температури Δt (°С) за час Δt (год.):

$$Q_{AK} = G_{П} \cdot c_{П} \cdot \Delta t / (3,6 \cdot \Delta \tau),$$

$G_{П}$ — маса продукту, кг; $c_{П}$ — питома теплоємність продукту, кДж/(кг·К); $Q_{П}$ — тепло, яке виділяється харчовими продуктами (дыхання, ферментація і т.д.), Вт:

$$Q_{П} = 10^{-3} \cdot G_{П} \cdot q,$$

q — тепло, що виділяється одиницею маси продукту в одиницю часу (воно залежить від температури $t_{ВН}$, яка змінюється з змінням часу τ , Вт/т).

При визначенні величини $Q_{П}$ можна користуватися приблизними величинами q (Вт/т), які містяться в табл. 14.3.

В практичних розрахунках при визначенні холодопродуктивності установки, тривалості охолодження чи запасу охолоджуючої речовини (льоду сухого чи водяного, рідкого азоту та ін.) вважають:

$$Q_{AK} = W_K \cdot (t_3 - t_{ВН}) / (7,2 \cdot \tau_p),$$

де τ_p — тривалість рейсу, год.

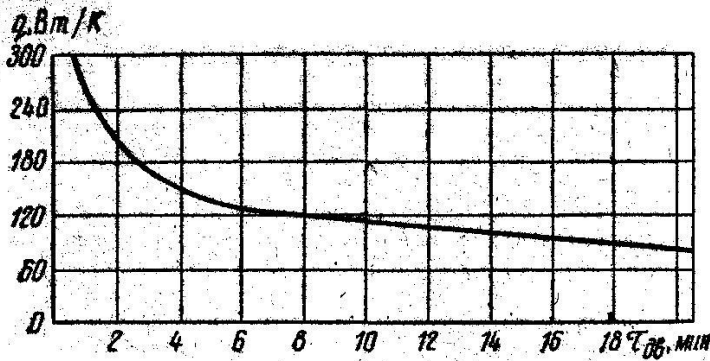


Рис. 5.4 — Питома витрата холоду на відкривання дверей у залежності від тривалості відкривання τ

Таблиця 5.1 — Тепло, яке виділяється продуктом, q, Вт/т

Продукт	Температура, °С		
	0	5	10
апельсини	10,5	18,6	35
виноград	9,2	24,5	36
груші	19,7	46,5	62,5
зелений горошок	104	188	265
суниця	53,5	92	174
капуста кольорова	62,5	78	138
капуста білокачанова	32,5	50,5	77
картопля	19,7	24,5	25,5
лимони	9,2	19,7	32,5
малина	92	166	290
огірки	19,7	33,5	60
персики	18,6	40,5	92
салат	38	51	102
сливи	2,8	65	126
томати	17,5	26,7	40,5
квасоля	80	92	183
черешня, вишня	22	53	107
шпинат	82	198	300
яблука	18,6	31,5	60
сир	73	96	133

Випробовування ізотермічних кузовів.

Випробування кузовів проводять відповідно до існуючих правил для встановлення теплоізоляційних властивостей кузова, що характеризуються загальним коефіцієнтом теплопередачі, а також герметичності кузова.

Величину k визначають експериментально двома методами: при стаціонарному і нестаціонарному теплових режимах.

Визначення коефіцієнта теплопередачі кузова при стаціонарному тепловому режимі. Випробування при

стаціонарному тепловому режимі проводять методом внутрішнього нагріву або внутрішнього охолодження.

В обох випадках:

$$k = Q / (F_{CEP} \cdot \Theta),$$

де k — коефіцієнт теплопередачі кузова, Вт/(м² · К); Q — тепловий потік, Вт; F_{CEP} — середня площа поверхні охолодження, м²; Θ — різниця температур повітря зовні і всередині кузова, °С; $\Theta = t_3 - t_{BH}$.

Середню площу поверхні огорожень розраховують по формулі $F_{CEP} = (F_3 \cdot F_{BH})^{1/2}$, де F_3 і F_{BH} визначають з врахуванням скруглень, виступів і т. п. В тому випадку, якщо поверхня огорожень покрита гофрованим матеріалом, приймають площу поверхні, дотичній до гофрів, а не площу розгорнутої гофрованої поверхні.

При визначенні t_3 і t_{BH} термометри (термопари) зазвичай розташовують на відстані 100 мм від огорожень в центрі шести основних поверхонь і в кожному з восьми кутів кузова. При наближеному визначенні k можна вимірювати температуру лише в центрі кожної з шести огорожувальних поверхонь. Середньою температурою є середнє арифметичне значення зі всіх вимірів.

Зазвичай k виражають у якості функції:

$$k = f(t_{CEP}),$$

де t_{CEP} — середня температура поверхні огорожень:

$$t_{CEP} = (t_3 + t_{BH}) / 2$$

Основні умови проведення випробувань. Випробовуваний кузов встановлюють в приміщенні (тунель), де температура, відносна вологість і швидкість циркуляції повітря підтримуються постійними.

Приміщення повинне мати устаткування, що дозволяє регулювати температуру в ньому залежно від режиму, який передбачається для дослідження.

Швидкість повітря в приміщенні (зовні транспортного засобу), повинна, по можливості, відповідати швидкості повітря при нормальному ході машини і не менше 1 — 2 м/с на відстані 100 мм від поверхонь кузова, паралельних потоку повітря.

Циркуляція повітря всередині кузова не має бути дуже інтенсивною. Різниця між температурами повітря в різних точках всередині кузова не повинна перевищувати 3 °С.

Режим вважається стаціонарним, якщо протягом 12 ч (виміри через кожних 15 мін) коливання температури зовні і всередині кузова не перевищують $\pm 0,5$ °С, а значення потужності відрізняються один від одного не більше ніж на 3 %.

Метод внутрішнього охолодження. При випробуваннях кузова методом внутрішнього охолодження всередині нього підтримують нижчу температуру, ніж зовні. Перевага цього методу — збіг напрямку теплового потоку при випробуваннях і при звичайній експлуатації.

Для охолодження використовують заздалегідь протаровану холодильну установку або інше джерело холоду, що дозволяє при стаціонарному режимі визначати його холодопродуктивність з достатньою точністю.

Принципова схема випробувань по методу внутрішнього охолодження з використанням холодоносія показана на рис. 5.5.

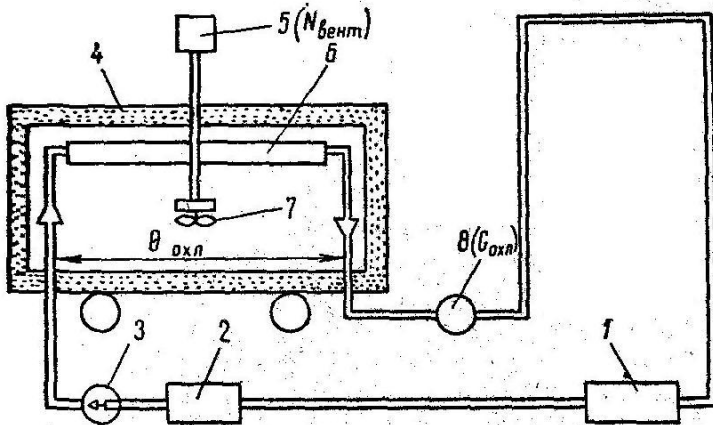


Рис. 5.5 — Стенд для випробування ізоермічних кузовів методом внутрішнього охолодження за допомогою холодоносія: 1 — холодильний агрегат; 2 — регулятор температури; 3 — насос; 4 — кузов; 5 — ваттметр; 6 — теплообмінник; 7 — вентилятор; 8 —

Кількість тепла (Вт), що відводиться охолоджувачем в кузові, визначають по формулі:

$$Q_{\text{охл}} = G_{\text{хд}} \cdot c_{\text{хд}} \cdot \Delta t_{\text{хд}}$$

де $G_{\text{хд}}$ — витрата холодоносія, кг/с; $c_{\text{хд}}$ — теплоємність холодоносія, Дж/(кг·К); $\Delta t_{\text{хд}}$ — змінення температури холодоносія, °С.

Тепловий потік (Вт) через огороження кузова:

$$Q = Q_{\text{охл}} - N_{\text{вент}},$$

де $N_{\text{вент}}$ — потужність вентилятора, який здійснює циркуляцію повітря всередині кузова, Вт.

Усередині кузова розташовують випарник і регулюючий вентиль, інші елементи холодильної машини знаходяться зовні.

Для точнішого підтримання необхідного температурного режиму всередині кузова також розміщують електронагрівач, потужність якого $N_{\text{гр}}$ разом з потужністю вентилятора $N_{\text{вент}}$ є додатковим тепловим навантаженням і може бути виміряна одним ватметром.

Тепловий потік (Вт), що проходить через огорожування кузова:

$$Q = G_A \cdot \Delta h_{\text{вип}} - N_{\text{вент}} - N_{\text{гр}},$$

де G_A — витрата холодильного агента (визначають заздалегідь протарованим ротаметром чи по тепловому балансу конденсатора), кг/с; $\Delta h_{\text{вип}}$ — різниця ентальпій на вході у випарник та на виході з нього, Дж/кг.

Можливо також випробування ізотермічного кузова методом внутрішнього охолодження за рахунок змінення агрегатного стану речовини (джерело холоду), завантаженої в кузов. Схема цього способу приведена на рис. 5.6.

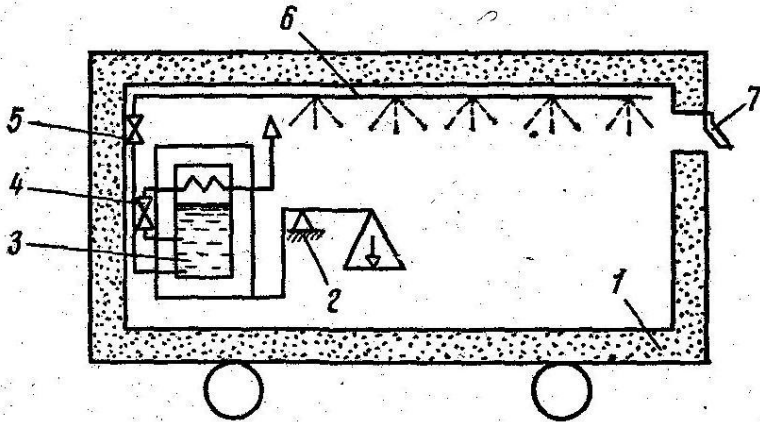


Рис. 5.6 — Стенд для випробовувань ізотермічних кузовів методом внутрішнього охолодження за рахунок змінення агрегатного стану холодильного агента у відкритому циклі:

- 1 — випробовуваний кузов; 2 — ваги з дистанційним відліком показань;
 3 — посудина із зрідженим газом; 4 — регулювальник тиску; 5 — автоматичний регулюючий вентиль; 6 — розпилювальний колектор; 7 — вихлопний клапан

Тепловий потік ($Вт$), який проходить через огороження кузова:

$$Q = G_A \cdot (\Delta h_A + c_A \cdot \Delta t_A),$$

де G_A — витрата охолоджуючої речовини, $кг/с$; Δh_A — різниця ентальпій речовини при змінненні агрегатного стану, $Дж/кг$; c_A — теплоємність речовини при її додатковому нагріванні на Δt_A , $Дж/(кг \cdot К)$.

При випробуваннях в такий спосіб важливо, щоб витрата охолоджуючої речовини була постійною і вимірювалася з достатньою точністю. Тому зручніше використовувати не тверду речовину (сухий або водний лід), а рідку, яка переходить в пару, наприклад зріджений азот або вуглекислий газ.

Метод внутрішнього нагріву. Такий спосіб технічно найбільш простий і тому найширше застосовується на практиці.

Всередині випробовуваного кузова встановлюють нагрівач, за допомогою якого температура повітря в кузові підтримується на 20 — 30 °С вище зовнішньої. Зазвичай проводять декілька дослідів, задаючись зовнішніми і внутрішніми температурами так, щоб значення середньої температури огороджувань кузова були в діапазоні від 15 до 35 °С.

У якості нагрівача зазвичай застосовують електрогрівку, проте можна використовувати також водяний або паровий нагрівач.

У першому випадку тепловий потік (W_t), який проходить через огороджування кузова:

$$Q = N_{ГР} + N_{ВЕНТ}$$

При обігріві за допомогою гарячої води тепловий потік (W_t):

$$Q = G_{ВД} \cdot c_{ВД} \cdot \Delta t_{ВД} + N_{ВЕНТ},$$

де $G_{ВД}$ — витрата гарячої води; $c_{ВД}$ — теплоємність води, Дж/(кг·К); $\Delta t_{ВД}$ — різниця температур води на вході та виході з теплообмінника, °С.

Здійснення обігріву за допомогою циркулюючої гарячої рідини складніше, а випробовування дає менш точні результати в порівнянні з випробовуванням з використанням електронагрівача.

Визначення коефіцієнта теплопередачі кузова при нестационарному тепловому режимі. Цей спосіб дозволяє значно (у 2 — 3 рази) скоротити час, потрібний для визначення коефіцієнта теплопередачі ізотермічного кузова, оскільки відпадає необхідність у виконанні умови $t_{ВН} = \text{const}$. Умови отримання практично достовірних результатів — постійність потужності джерела нагрівання (або охолодження) усередині кузова $N_{ГР}$ і зовнішньої температури t_3 .

Тепловий режим повинен досягти стану, що забезпечує лінійний градієнт температур в обгороджування.

При цьому можна вважати, що:

- всі елементи кузова масою G_1 , що знаходяться усередині нього (внутрішня обшивка, огороджування стін і підлоги, кріюки та ін.), мають температуру $t_{ВН}$;

- всі елементи кузова, що знаходяться зовні (зовнішня обшивка, шасі та ін.), мають температуру t_3 ;
- змінення середньої температури t_{I3} маси теплоізоляційного шару G_2 удвічі менше змінення середньої температури t_{BH} .

За цих умов із зміненням внутрішньої температури в одиницю часу на величину Δt_{BH} кількість закумуляованого холоду:

$$Q_{AK} = G_1 \cdot c_1 \cdot \Delta t_{BH} + 0,5 \cdot G_2 \cdot c_2 \cdot \Delta t_{BH},$$

де c_1 і c_2 — відповідно, середня питома теплоємність елементів, які знаходяться всередині кузова, і теплоізоляційного шару. Сума $G_1 \cdot c_1 \cdot \Delta t_{BH} + 0,5 \cdot G_2 \cdot c_2 = W_{КУЗ}$ є водяним еквівалентом маси кузова, що акумулює тепло при нестационарному режимі, тобто:

$$Q_{AK} = W_{КУЗ} \cdot \Delta t_{BH}$$

Загальний тепловий потік при нестационарному режимі, який відповідає коефіцієнту теплопередачі k_s , виражається формулою:

$$Q = Q_0 + Q_{AK},$$

де Q_0 — кількість тепла, яке проходить через середню поверхню $F_{СЕР}$ випробовуваного об'єкту, при коефіцієнті теплопередачі k , тобто:

$$Q = k_s \cdot F_{СЕР} \cdot (t_{BH} - t_3); Q_0 = k \cdot F_{СЕР} \cdot (t_{BH} - t_3)$$

Приймаючи змінення внутрішньої температури t_{BH} за час $d\tau$ рівним dt_{BH} , величину закумуляованого в одиницю часу тепла можна виразити наступним чином:

$$Q_{AK} = W_{КУЗ} \cdot dt_{BH} / d\tau$$

або

$$k_s = k + W_{КУЗ} / [F_{СЕР} \cdot (t_{BH} - t_3)] \cdot dt_{BH} / d\tau$$

при стаціонарному режимі:

$$dt_{\text{BH}} / d\tau = 0 \text{ і } k_S = k.$$

Для визначення дійсної величини k при нестационарному режимі по даним випробовувань будують графіки: $t_{\text{BH}} = \varphi(\tau)$, який зображений на рис. 14.34, а і $k_S = f(\tau)$ — на рис. 14.34, б.

$$dt_{\text{BH}} / d\tau = \text{tg } \alpha$$

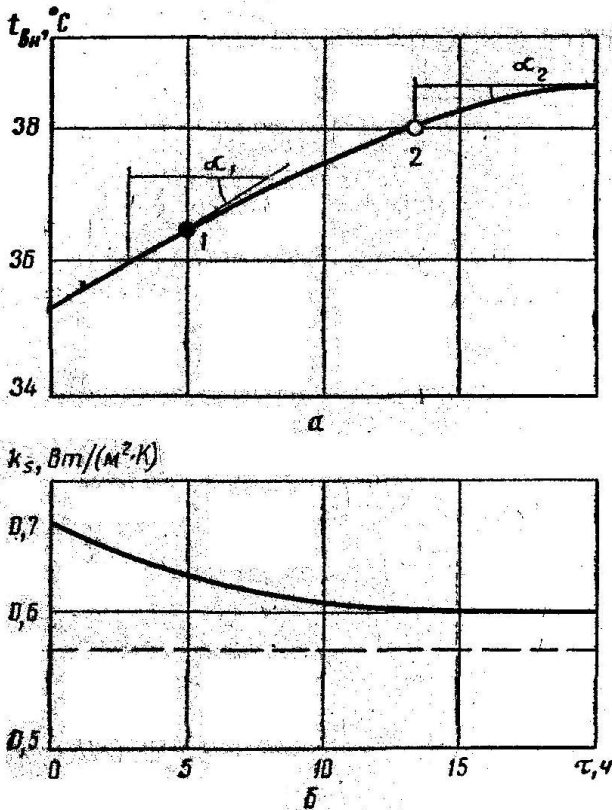


Рис. 5.7 — Змінення внутрішньої температури (а) і коефіцієнту теплопередачі (б) при нестационарному режимі

Знайшовши по рис. 5.7, а величину $dt_{BH} / d\tau = tg \alpha$ і в цей же момент часу по рис. 5.7, б — величину k_S , можна визначити значення коефіцієнту теплопередачі:

$$k = k_S — W_{КУЗ} / [F_{СЕР} \cdot (t_{BH} — t_3)] \cdot dt_{BH} / d\tau$$

Даний спосіб випробовувань при нестационарному режимі можна використовувати як при внутрішньому нагріванні, так і при охолодженні, вводячи в формули члени з відповідними знаками.

Величину $dt_{BH} / d\tau$ визначають графічно з особливою ретельністю.

При легкій конструкції кузова загальна тривалість випробовувань таким методом складає не більше 12 год.

Визначення герметичності кузова.

Основні причини, що викликають міграцію повітря через огорожувальні поверхні кузова:

- різниця в температурі і щільності повітря всередині і зовні кузова обумовлює відповідну різницю тиску;

- наявність швидкісного напору і вітрового тиску при русі визначає різницю в тиску на стіни з навітряного і з підвітряного боку; наприклад, при швидкості 40 км/ч різниця тиску складає 73,6 Па (7,5 мм вод. ст.);

- переміщення машини із змінною швидкістю викликає різницю тиску всередині кузова на передню і задню стінки, яка, будучи функцією прискорення, може впливати в 4 — 5 разів більше, ніж вплив зовнішнього повітря;

- вібрація кузова при русі, обумовлена струсами і деформацією, викликає пульсацію повітря.

Перші дві причини міграції повітря можуть бути вивчені в лабораторних умовах, а решта — лише в дорозі.

Застосовують наступні основні методи випробовувань кузова на герметичність: проба димом; під тиском; за допомогою мічених атомів; імітація ефекту місцевого підвищення зовнішнього тиску. Вказані методи випробовувань не забезпечують точного визначення величини витоків повітря з кузова при нормальній експлуатації, але допомагають скласти тепловий баланс установки.

Найбільш поширені перші два методи випробовувань.

Проба димом встановлює основні місця витоку в ізотермічних конструкціях з їх фіксацією шляхом фотографування.

У якості генератору диму всередині кузова зазвичай використовують димову шашку; надлишковий тиск 98 — 147 Па (10 — 15 мм вод. ст.) створюється відцентровим вентилятором, що приєднується до кузова вентиляційною трубою, яка проникає в кузов через ретельно герметизований отвір в дверях або в одній зі стін.

Метод дуже простий, його легко здійснити, і він застосовується як експрес-метод при промисловому випуску машин.

Випробовування кузова під тиском дозволяє встановити його герметичність з визначенням загальної величини витоків. Метод передбачає вимір витрати повітря, що поступає в кузов при підтриманні постійної різниці тиску всередині і зовні кузова.

Таблиця 5.2 — Температури, які рекомендуються для перевезень свіжих фруктів, ягід ті овочів, °С

Продукт	Тривалість перевезень, доба	
	від 1 до 3	від 4 до 6
абрикоси	0 — 3	0 — 2
ананаси	10 — 12	8 — 10
апельсини	4 — 10	9 — 10
грейпфрут, лимони	8 — 15	8 — 15
банани	12 — 14	12 — 14
виноград ²	0 — 8	0 — 6
вишня ²	0 — 4	не рекомендується
горох в стручках	0 — 5	не рекомендується
гриби ¹	0 — 2	—
груші	0 — 5	0 — 3
дині	4 — 10	4 — 10
капуста качанова	0 — 10	0 — 6
капуста кольорова	0 — 8	0 — 4
картопля	5 — 20	5 — 20
полуниця ²	1 — 2	не рекомендується
кольрабі	0 — 20	0 — 20
корнішони	12 — 15	10 — 13

латук	0 — 6	0 — 2
лук	1 — 20	1 — 13
малина ²	1 — 2	не рекомендується
мандарини	4 — 8	4 — 8
морква	0 — 8	0 — 5
огірки	10 — 15	10 — 13
перець	7 — 10	7 — 8
персики	0 — 7	0 — 3
помідори:		
- зелені	10 — 15	10 — 13
- спілі	4 — 8	не рекомендується
сливи	0 — 7	0 — 5
гарбуз	0 — 5	не рекомендується
кріп	0 — 10	0 — 6
шпинат	0 — 5	не рекомендується
яблука	3 — 10	3 — 10

¹ Транспортування більш 24 год. не рекомендується.

² Необхідний захист від конденсації вологи з повітря на поверхні продукту

Таблиця 5.3 — Температури, які рекомендуються для перевезень свіжих продуктів тваринного походження, °С

Продукт	Тривалість перевезень, доба	
	від 1 до 3	від 4 до 5
м'ясо і свіжий бекон ¹	—1 ÷ 7	—1 ÷ 7
м'ясні продукти	—1 ÷ 8	не рекомендується
субпродукти	—1 ÷ 3	не рекомендується
шпик	≤ 12	≤ 10
курча, кролики ¹	—1 ÷ 4	—1 ÷ 4
дичина ¹	—1 ÷ 4	—1 ÷ 4
яйця ¹	0 — 15	0 — 15
риба ² , пересипана льодом	0 — 2	0 — 2
копчена риба	≤ 10	≤ 6
креветки	2 — 4	

	транспортування більш 24 год. не рекомендується	
молоко натуральне чи пастеризоване	0 — 4	не рекомендується
молоко промислове	0 — 6	не рекомендується
вершки, кефір, йогурт	0 — 4	не рекомендується
масло та маргарин	≤ 6	≤ 6
твердий сир	0 — 15	0 — 15
плавлений сир	0 — 15	0 — 15
м'який сир		
- незрілий	8 — 12	8 — 12
- зрілий	4 — 7	не рекомендується
сир рокфор та ін.	0 — 10	0 — 6

¹ Необхідний захист від конденсації вологи з повітря на поверхні продукту

² Перевезення на протязі 4 — 6 діб можливе, якщо риба була свіжою при вантаженні

³ Свіже молоко не треба перевозити більш 60 год.

6. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОПРИПЛИВІВ ЧЕРЕЗ ЗАХИСНІ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Теплотехнічні властивості кузовів автомобільного, залізничного транспорту, охолоджуваних контейнерів та інших малих охолоджуваних об'ємів визначаються середньозваженим (по площі огорож) коефіцієнтом теплопередачі \bar{K} , який, за наявності в огорожах теплових містків, розраховують зонним і пошаровим методами.

Набуті значення \bar{K} відносять до середньгеометричної площі поверхні огорож $\bar{F} = \sqrt{F_{зов} \cdot F_{вн}}$, причому $F_{зов}$ і $F_{вн}$ обчислюють без урахування гофрів обшивок.

Рекомендовані значення \bar{K} залежать від температури повітря в кузові (t_k):

- $\bar{K} = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ при $t_k = (12\dots-5)^\circ\text{C}$

- $\bar{K} = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ при $t_{\kappa} = (12\dots-15)^{\circ}\text{С}$
 - $\bar{K} = 0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ при $t_{\kappa} = (12\dots-25)^{\circ}\text{С}$
- Тоді:

$$Q = \bar{K} \cdot \bar{F} \cdot (t_{\text{зов}} - t_{\kappa})$$

Похибка цього методу стає істотною, якщо охолоджуваний об'єм і зовнішні форми корпусу відрізняються від прямокутного паралелепіпеда, а також при різних товщинах ізоляції окремих огорож кузовів.

Крім того, при експлуатації кузовів величина \bar{K} збільшується з часом (у 2...3 рази) унаслідок старіння ізоляції, зволоження її, а також осідання ізоляції при трясінні під час їзди з утворенням щілини і порожнеч.

Це призводить до збільшення витрат на вироблення холоду і порушення температурного режиму усередині кузова.

Тому потрібна періодична перевірка величини \bar{K} .

Розглянемо метод, що дозволяє дослідним шляхом визначати добуток $\bar{K} \cdot \bar{F}$, називається *коефіцієнтом теплопровідності*, для кузовів та інших охолоджуваних об'ємів різної геометричної форми.

Величину $\bar{K} \cdot \bar{F}$ визначають методом стаціонарного теплового потоку.

Суть методу. Кузов встановлюють в приміщенні з постійною температурою. Усередині кузова встановлюють електронагрівачі, які включають у мережу по схемі, яка зображена на рис. 6.1 через стабілізатор напруги і автотрансформатор з регульованою напругою.

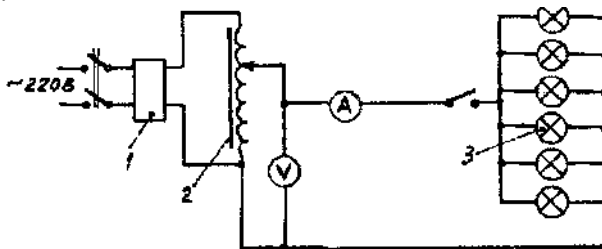


Рис. 6.1 — Схема включення електронагрівачів:
1 — стабілізатор напруги; 2 — автотрансформатор; 3 — електронагрівачі;

Кузов безперервно нагрівають до досягнення в ньому постійної (у часі) температури $t_{вн}$ на (10...20) °С вище за зовнішню температуру $t_{зов}$, тобто постійної температурної різниці:

$$\Theta = t_{вн} - t_{зов}$$

Тоді:

$$\overline{K \cdot F} = \frac{Q}{\Theta} \left[\frac{Bm}{K} \right]$$

Величину Q визначають за показаннями електровимірвальних приладів.

Величина $\overline{K \cdot F}$ лінійно залежить від середньої температури огорожі

$$\overline{t_{огор}} = 0,5 \cdot (t_{зов} + t_{вн}),$$

тобто для заданої температури $\overline{t_{огор}} = t$:

$$(K \cdot F)_t = (K \cdot F)_0 + b \cdot \overline{t_{огор}},$$

де $(KF)_t$ — величина $\overline{K \cdot F}$ при температурі $\overline{t_{огор}} = t^\circ\text{C}$; $(KF)_0$ — величина $\overline{K \cdot F}$ при температурі $\overline{t_{огор}} = 0^\circ\text{C}$

Для визначення невідомих значень $(KF)_0$ і b необхідно провести як мінімум 2 випробування при різних температурах $\overline{t_{огор}}$ (проводять звично 3 випробування) і обчислити значення величин $(KF)_0$ і b за дослідним даними.

Це дозволяє визначити величину $(KF)_t$ для будь-якої середньої температури огорожі $\overline{t_{огор}}$, а потім і тепловий потік як

$$Q = \overline{K} \cdot \overline{F} \cdot (t_{\text{зов}} - t_{\text{к}})$$

Методом користуються при заводських випробуваннях нових кузовів і перевірі $\overline{K} \cdot \overline{F}$ кузовів, що знаходяться в експлуатації.

7. МОРОЗИЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ

7.1. Тунелі швидкого заморожування

Тунелі швидкого заморожування виявилися дуже довговічним морозильним устаткуванням в холодильній техніці і до цих пір є неодмінною приналежністю звичайних холодильних приміщень і складів. Проте довгий час залишалася невирішеною проблема механізації завантаження продуктів в тунелі і забезпечення безперервності їх роботи.

Конструювання тунелів безперервної дії стало необхідним зважаючи на важкі виробничі умови, що мали місце в морозильних тунельних апаратах періодичної дії. Великі коливання температури (від 0 до -35 °С), висока відносна вологість повітря, значна кількість води, що виходить із заморожуваних продуктів, сильно зношують устаткування.

Перші угорські тунелі швидкого заморожування конструювалися головним чином для обробки напівтуш і четвертин туш м'яса, тому вони були забезпечені верхньою рейкою. Кальмар, Фараго і Геллер намагалися зробити процес безперервним за допомогою штовхального механізму носійних візків. Забезпечені крюками носійні візки пересувалися поштовховими пристроями, розміщеними поза повітряною камерою тунелю і сполученими з механічними, гідравлічними або електричними моторами в такий спосіб, що рух в подовжньому і поперечному напрямках здійснювався в певному порядку. За допомогою поштовхового пристрою візки спочатку віддалялися від вхідного отвору, потім пересувалися в поперечному напрямі і знову рухалися назад по паралельному тунелю до його кінця. В принципі, таким чином досягалося двократне використання протяжності тунелю, що

приводило до економії місця і витрат. Проте конструкції рушійних пристроїв не могли діяти досить тривалий час з високою надійністю у важких виробничих умовах, тому завдання забезпечення безперервності дії тунелів швидкого заморожування з верхньою рейкою ще і сьогодні не має високоефективного рішення.

Під час освоєння холодильних тунелів для швидкого заморожування фруктів і овочів спочатку використовували таке пересувне устаткування, яке дозволяло в підвішених на верхній рейці металевих рамках розміщувати завантажені продуктами грати (колосники). Пізніше грати стали поміщати на носійних листах або на окремих носійних візках.

У 70-х роках на основі планів Відділу розвитку угорської холодильної промисловості був побудований морозильний тунель безперервної дії для обробки головним чином готових блюд (Вагнер, 1971 р.).

Двері завантаження і вивантаження продукту в тунелі були розміщені один проти одного, а візки переміщалися лебідкою по робочому коридору в одному напрямі (рис. 7.1). Заморожувані продукти поміщали на підноси, а підноси — на візки транспортувань. Завантажений візок уручну перекочували до вхідних дверей, укочували в тунель, де він зчіплювалася з візком, що йде попереду. Вивантаження продуктів виконувалося періодично після проходження ділянки, рівної по довжині розміру візка. Крюк лебідки на вигідному кінці тунелю чіплявся за наступний візок, і протягання їх через апарат продовжувалася. Після закінчення процедури виїмки візок автоматично виводився з робочого ряду на вихідному кінці тунелю. Весь тунель мав чотири таких ряди. Пластмасові коліщатка візків котилися по прокладених усередині тунелю залізних куточках.

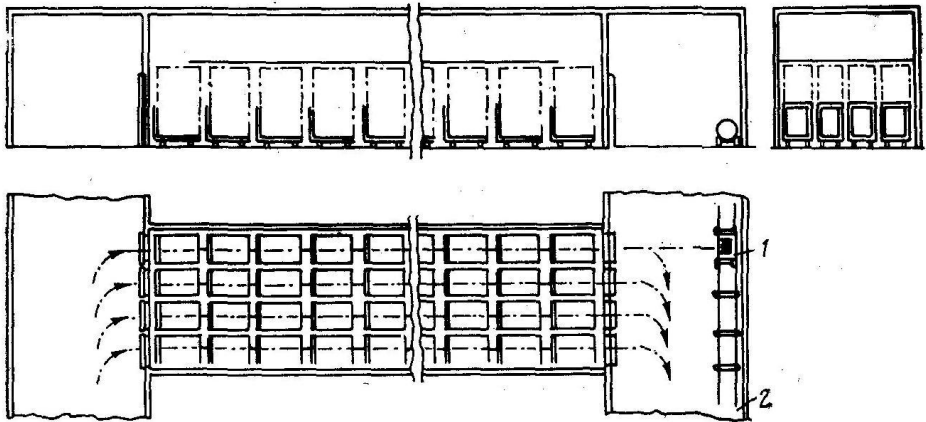


Рис. 7.1 — Тунель швидкого заморожування з протяганням візків (1) лебідками (2)

Тунель був розрахований на 48 візків, що вміщують приблизно 20 т продуктів. Час проходження одного візка склав 16 — 20 год.

Іншим способом безперервного пересування продукту по тунелю є транспортер. Вагнер повідомляє про такий апарат угорської конструкції, де були використані дві рухомі одна під іншою сітчасті стрічки з синтетичного матеріалу. По двох сторонах стрічки проходив роликовий ланцюг, який забезпечував рівномірність протягання. На обидва транспортери одночасно насипалися заморожувані продукти. Потік повітря рухався назустріч руху стрічки, що забезпечувало порівняно малу різницю температур між ним і продуктами. Швидкість стрічки безперервно регулювалася. Тривалість проходження продуктів можна було змінювати від 18 до 24 хв. Добова продуктивність тунелю 15 т.

Інший стрічковий апарат також угорської конструкції передбачав заморожування продуктів прямо на колосниках, що виключало пошкодження при пересипанні на стрічку. Транспортром тут служив роликовий ланцюг з вушками, який був зв'язаний перпендикулярними до нього фасонними стрижнями. На них розташовувалися ґрати з продуктами. Холодне повітря піддувається під стрічку шістьма розміщеними з боків відцентровими вентиляторами. Тривалість проходження продуктів 21 хв. Продуктивність установки по обробці малини 10 т/добу.

З поширених за кордоном стрічкових морозильних тунелів (белт або банд) найцікавіше згадати апарат фірми Лінде (рис. 7.2).

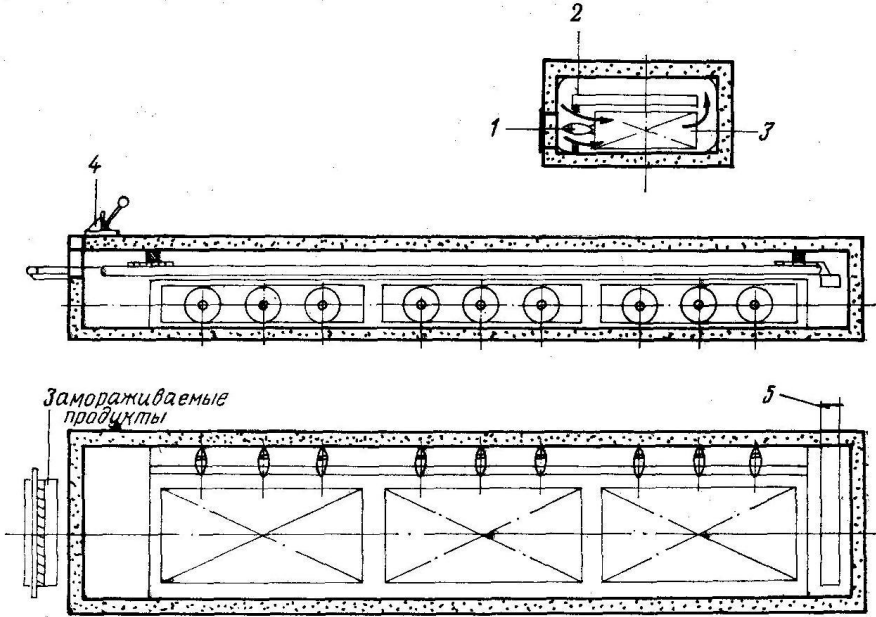


Рис. 7.2 — Установка швидкого заморожування системи Лінде:
1 — вентилятор; 2 — транспортер; 3 — повітроохолоджувачі; 4 —
підіймальний пристрій; 5 — транспортер для заморожених

Морозильна установка безперервної дії фірми «Фрігоскандія» відрізняється від нього розташуванням повітроохолоджувачів і вентиляторів, які розміщені над транспортером (рис. 7.3).

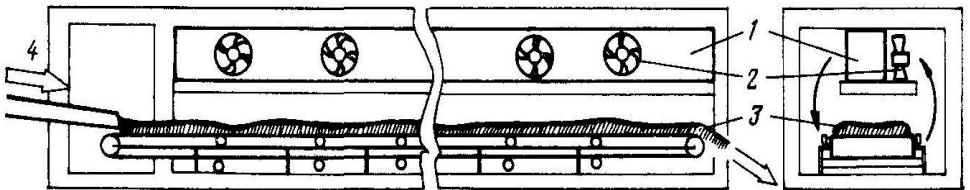


Рис. 7.3 — Установка швидкого заморожування з транспортерами
типа Фрігоскандія:

1 — випарник; 2 — вентилятор; 3 — заморожувані продукти; 4 —
завантаження
є органічною частиною будівлі холодильника, їх теплоізоляція і стіни

викладаються під час будівництва споруди. Зарубіжні апарати виготовляють з металевих ізольованих конструкцій, і їх можна вмонтовувати в будь-якому місці. Такий, наприклад, і апарат фірми "Фрігоскандія" "Жиро-фріз" (рис. 7.4). Продукти, розміщені на пронизуваному повітряним потоком транспортері, проходять при заморожуванні на цій установці спіральний шлях. Таким чином досягається хороша ступінь використання корисного об'єму морозильної камери. У гравітаційних стрічкових морозильних апаратах ГК—2 і ГК—4 системи ВНХІ 10 — 14 рейок розміщені одна над іншою. Особливий механізм переміщає по рейках маленькі візки з підносами, завантаженими оброблюваним продуктом.

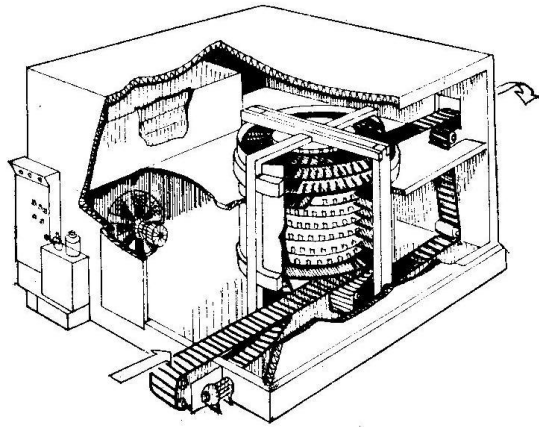


Рис. 7.4 — Спіральна установка швидкого заморожування "Жиро-

7.2 Флюїдизаційні (індивідуальні) морозильні апарати

Значна частина продуктів, що поступають на швидке заморожування, має невеликі розміри. Така переважаюча частина овочів (зелений горошок, морквяні кубики і т. д.), ягоди і, наприклад, дуже популярні за кордоном креветки. Ці продукти в даний час вже не заморожують в упакованому вигляді. Для їх обробки застосовується процес так званого індивідуального швидкого заморожування або флюїдизації IQF (Individual Quick Freezing) (рис. 7.5 — 7.9). Тут продукти заморожуються окремими шматочками, тобто індивідуально кожен, а потім розкладаються по коробках споживчої і збірної упаковки. Індивідуальне заморожування відбувається в такому інтенсивному і направленому

вгору повітряному потоці, що продукти підтримуються в зваженому стані (флюїдизують).

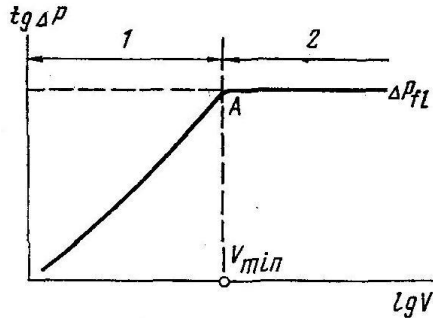


Рис. 7.5 — Діаграма падіння тиску при піддуванні знизу:
1 — шар, що покоїться; 2 — флюїдизаційний шар

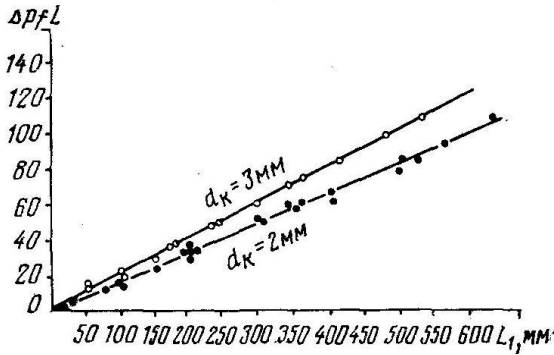


Рис. 7.6 — Втрата тиску у флюїдизаційному шарі залежно від його товщини

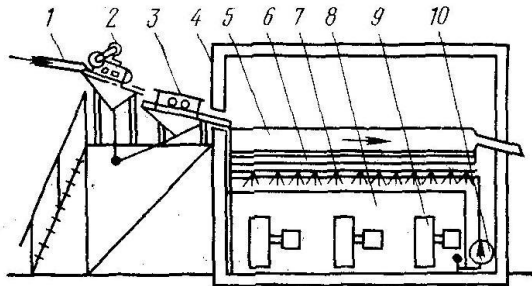


Рис. 7.7 — Флюїдизаційне морозильне устаткування:
1 — гідротранспортер; 2 — вібраційний водовіддільник; 3 — вібраційний дозатор; 4 — теплоізолююче покриття; 5 — морозильний жолоб; 6 — приймач гліколя; 7 — глікольні оббризкувальні голівки; 8 — випарник; 9 — вентилятори; 10 —

Стан, в якому насипні продукти поведуться подібно до рідини, виникає при певній швидкості повітряного потоку. Якщо потік повітря проходить вгору через шар лежачих на сітчастій тканині частинок матеріалу, то можна відмітити характерне пониження його тиску. Якщо швидкість повітря зростає, то до певного часу підвищується і спад тиску, але шар залишається в стані спокою. При деякій певній швидкості, значення якої залежить від розміру і маси часток, падіння тиску залишається незмінним, а частки починають витати в повітрі.

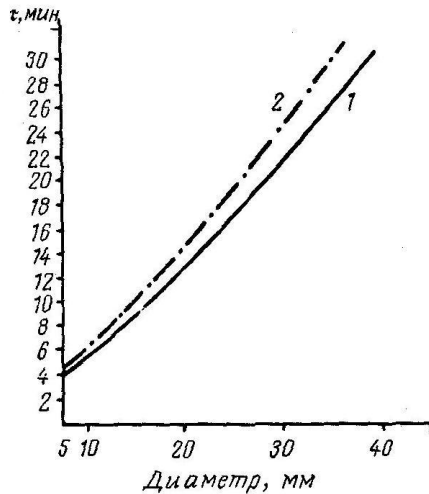


Рис. 7.8 — Залежність тривалості флюїдизаційного замерзання від розмірів і форми продукту:
1 — куляста; 2 — циліндрова

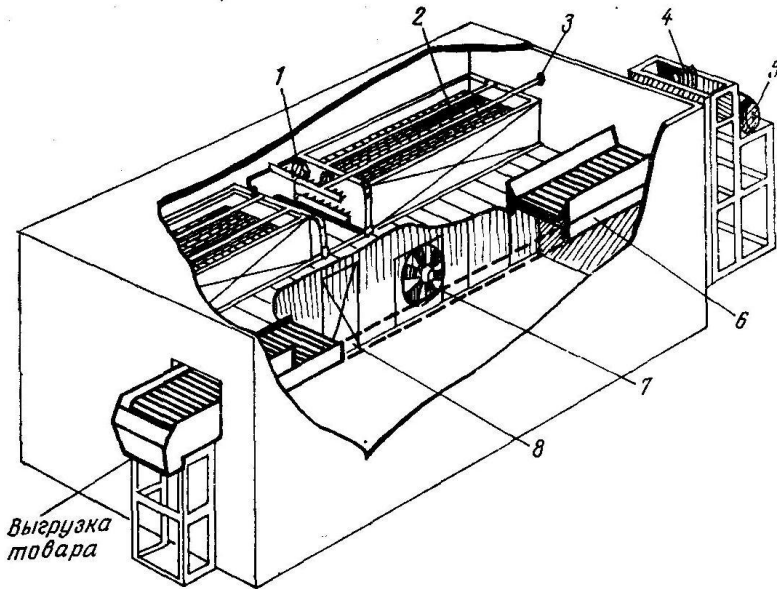


Рис. 7.9 — Флюїдизаційна установка швидкого заморожування системи IQF:

- 1 — відтавач; 2 — охолоджувальні труби із спіральними ребрами; 3 — рідкий холодоагент; 4 — завантажувальний транспортер; 5 — транспортер миття і слички; 6 — транспортер; 7 —

Це так зване флюїдизаційне падіння тиску $\Delta p_{\text{ф}}$ дорівнює тиску стовпа матеріалу на одиницю площі поверхні. Подібне явище можна пояснити тим, що після початку флюїдизації видима щільність шару зменшується і відбувається як би розпушування матеріалу.

Унаслідок збільшення вільного простору між частками швидкість потоку падає. Падіння тиску залишається постійним, поки шар здатний розширюватися, і підймальна сила, що діє на частки, знаходиться в рівновазі з їх масою. При подальшому розширенні шару, коли швидкість повітряного потоку перевищить певну межу, починається винесення часток з системи. Це вже стан пневматичного транспортування.

Падіння тиску у флюїдизаційному шарі лінійно залежить від його товщини. Кут нахилу прямої, що відображає цю залежність, пов'язаний з розміром часток.

Таким чином, можна сказати, що при даній швидкості потоку, яку забезпечують вентилятори, флюїдний стан регулюється шляхом зміни товщини шару матеріалу. Практично у флюїдизаційному морозильному устаткуванні встановлюється швидкість потоку $6 — 7$ м/с, що дозволяє досягти флюїдного полягання в шарі овочів відповідної товщини.

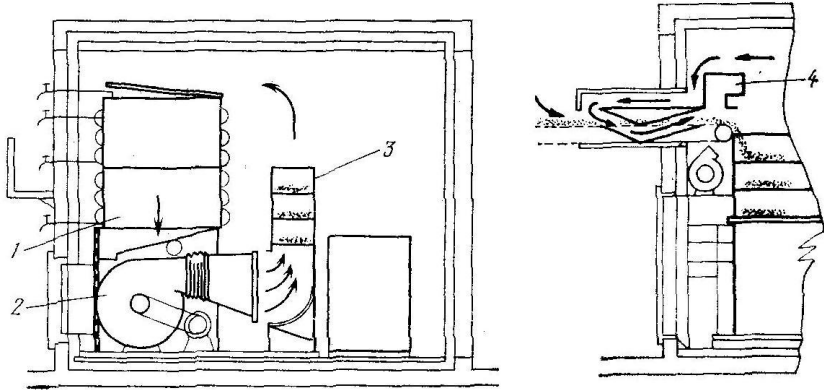


Рис. 7.10 — Флюїдизаційна установка швидкого заморожування системи AZF-1:

1 — випарник, 2 — вентилятор, 3 — флюїдизаційні жолоби, 4 — додаткове піддування повітря

У багатьох угорських холодильниках встановлені флюїдизаційні морозильні апарати «Фло-фриз» фірми «Фрігоскандія». Тут продукти по гідрожолобу доставляються до пристрою з ізованого металу з листовим або пластмасовим покриттям, де за допомогою вібраційного механізму від них відділяється вода. За допомогою вібрації відбувається і дозування продуктів у флюїдизаційний жолоб, нижня частина якого забезпечена ґратами відповідної конструкції, встановленої для того, щоб частинки не провалювалися, і яка дозволяє повітряному потоку вільно проходити вгору. Повітряний потік, який з високою швидкістю проходить через випарники, створюється відцентровими вентиляторами. Безперервне дозування і проходження продуктів по жолобу досягаються шляхом правильного підбору напрямку повітряного потоку, що має тангенціальну складову, шляхом

вібрації жолоба або установки його під відповідним кутом до горизонталі.

Утеплення випарника може виконуватися безперервно або періодично водою або розчином гліколя. Продуктивність установки міняється для різних типів в широких межах (від 0,5 до 2 т/год., від 3 до 6 т/год.). Важливо, щоб початкова температура продуктів, що поступають в жолоб, була нижче 15 °С.

Виключно швидке індивідуальне заморожування забезпечує не лише красивий зовнішній вигляд продуктів (відсутня грудкуватість), але і хороша якість, а також малі втрати маси. Температура матеріалу, що поступає на заморожування по гідрожолобу, може бути зменшена до нуля, тому випаровується або сублимує лише вода, що пристала до поверхні.

В угорських конструкціях холодильників флюїдизаційні жолоби інколи вбудовують в тунелі швидкого заморожування. Первинний повітряний потік від головного вентилятора тунелю піддувається під продукти вентиляторами, сполученими з жолобом.

Цікаву комбінацію тунелів флюїдизаційного, стрічкового і з візками являє собою морозильний апарат IQF, що функціонує в Угорщині, розроблений компанією "Люїс Рефрижерейшн". З двох сторін апарату встановлені повітроохолоджувачі і вентилятори. З правого боку окремо від повітроохолоджувачів проходить стрічка транспортера, виготовлена з неіржавіючої сітки. Перш ніж насипати продукти, сітку звільняють від інею і просушують за допомогою пристроїв, розташованих на передній стінці апарату. Конструкція установки така, що вона збирається з декількох однакових секцій, від числа яких залежить її потужність. Тому продуктивність може мінятися в межах 3 — 5 т/год. Ширина стрічки транспортера 1250 мм, довжина змінюється залежно від числа секцій.

Флюїдизуючі продукти насипають на стрічку шаром завтовшки 3 см, частково флюїдизуючі (наприклад, нарізана зелена квасоля) — шаром завтовшки 7 — 12 см. Нефлюїдизуючі продукти (наприклад, картопля) можна насипати шаром 20 — 25 см.

Замерзання відбувається дуже швидко. Його тривалість (у хв.) при зміні температури від 21 до —18 °С для продуктів різного вигляду складає:

Зелений горошок	3
Зерна столової кукурудзи	3
Суниця	9 — 13
Наріzana зелена квасоля	5 — 12
Картопляні часточки	8 — 12
Наріzana морква	6
Рибне філе завтовшки 3 см	30

Заморожування нефлюїдизуючих упакованих продуктів виконується з використанням стрічкового транспортера. Поміщені на рамкові візки або підвішені продукти можна заморожувати в просторі під стрічкою.

Схожу конструкцію має апарат по швидкому заморожуванню методом флюїдизації марки АЗФ-1, спроектований в Пловдивському інституті консервної промисловості (рис. 7.10) (Фікіін, 1973 р.).

Апарат потужністю 1 т/год володіє власним устаткуванням попереднього заморожування, в якому можна підморожувати до утворення твердого поверхневого шару ніжні продукти (малину, суницю). Після такого підморожування вони вступають на флюїдизацію. На самому верхньому флюїдизаційному жолобі тангенціальна складова повітряного потоку і вібрація перешкоджають примерзанню продуктів до ґрат. Для заморожування продуктів дрібних розмірів вистачає лише верхнього жолоба, де двоступінчаті вентилятори створюють повітряний потік малої швидкості. Якщо потрібно заморожувати продукти відносно великих розмірів (слива, кольорова капуста та ін.), продукти безперервно проходять до двох інших флюїдизаційних жолобів з високою швидкістю повітряного потоку. Це устаткування має можливості багатоцільового застосування. На ньому можна заморожувати і упаковані продукти з малою тривалістю зберігання, завантажені в переобладнані візки з полицками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хмельнюк М.Г., Подмазко О.С. Холодильні установки спеціального призначення. Херсон. 2013, 588с.
2. Малі холодильні установки і холодильний транспорт. Довідник "Холодильна техніка" під редакцією О.В.Бикова. М. Харчова промисловість. 1978, 239 с.
3. Різноманітні області використання холоду. Довідник "Холодильна техніка" під редакцією О.В.Бикова. М. Агропромвидавн. 1985, 272 с.
4. Зеліковський І.Х., Каплан Л.Г. Малі холодильні машини і установки. М. Агропромвидавн. 1989, 672 с.
5. Подмазко О.С., Мнацаканов Г.К. Холодильні установки спеціального призначення. Конспект лекцій. Одеса. 2012, 91с.
6. Добровольский А.П. Судовые холодильные установки. – Л.: Судпромиздат, 1962. – 391 с.
7. Загоруйко В.А., Голиков А.А. Судовая холодильная техника. – Киев: Наукова думка, 2000. – 608 с.
8. Швецов Г.М., Ладин Н.В. Судовые холодильные установки. М.: Транспорт, 1986. -232 с.