

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут** Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого  
**Кафедра** теплоенергетики та холодильної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту

\_\_\_\_\_ Сергій Блаженко  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Валентин Петренко  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 142 Енергетичне машинобудування

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми \_\_\_\_\_

Холодильні техніка та технологія

на тему: Вплив термодинамічних властивостей аміаку на точність розрахунків  
холодильних систем.

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ХМ-2-7М

\_\_\_\_\_ Рожко Назар Вячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Масліков Максим Михайлович

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

\_\_\_\_\_  
(підпис та прізвище здобувача)

Київ – 2025 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого  
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Холодильні техніка та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ТЕХТ**

проф. Петренко В.П.

“17” вересня 2025 року

## **З А В Д А Н Н Я**

### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Рожко Назар Вячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вплив термодинамічних властивостей аміаку на точність розрахунків холодильних систем.

керівник роботи к.т.н., доц. Масліков Максим Михайлович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 17.09.2025 року № 712-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 02.12.2025 року

3. Вихідні дані до роботи здійснити збір та узагальнення інформації в повному обсязі, необхідної для розрахунків роботи холодильних установок на хладоні R717. Визначити при яких температурах буде найбільша похибка.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):  
ВСТУП 1. ОГЛЯД ХОЛОДОАГЕНТІВ 2. ПОНЯТТЯ «АМІАК» 3. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХЛАДОНУ R717 4. РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АМІАКУ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ВИСНОВКИ СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу

Не передбачено



## АНОТАЦІЯ

Магістерську роботу присвячено дослідженню теплофізичних властивостей аміаку (R717) як високоефективного та екологічно безпечного природного холодоагенту. В умовах сучасних тенденцій відмови від синтетичних хладонів з високим потенціалом глобального потепління, використання R717 набуває особливої актуальності для промислового холодопостачання.

Основною метою роботи є розробка та систематизація математичного апарату для автоматизації теплових розрахунків холодильних установок, що працюють на аміаку. У роботі здійснено комплексний аналітичний огляд літературних джерел та нормативних даних щодо властивостей R717.

Запропоновано набір апроксимаційних формул для визначення ключових теплофізичних параметрів аміаку в робочому діапазоні температур від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Проведено порівняльний аналіз отриманих розрахункових значень із табличними даними та визначено температурні зони з найбільшою похибкою. Це дозволяє відмовитися від використання громіздких таблиць та діаграм на користь програмних методів розрахунку.

Практична цінність отриманих результатів полягає у створенні бази для інженерного програмного забезпечення, що значно пришвидшує проектування холодильних систем та підвищує точність розрахунків циклів. Додатково в роботі розглянуто питання охорони праці та безпечної експлуатації аміачних установок.

**Ключові слова:** *Аміак, холодоагент R717, теплофізичні властивості, рівняння стану, апроксимація, холодильні установки, енергоефективність, автоматизація розрахунків.*

					00.КМР.142.003. 011.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Вплив термодинамічних властивостей аміаку на точність розрахунків холодильних систем	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Рожко Н.В.					4	
Перевір.		Масліков М.М.				каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ		
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		Петренко В.П.						

## ABSTRACTS

The master's thesis is devoted to the study of the thermophysical properties of ammonia (R717) as a highly efficient and environmentally safe natural refrigerant. Given the current global trends towards phasing out synthetic refrigerants with high Global Warming Potential (GWP), the use of R717 is becoming increasingly relevant for industrial refrigeration.

The primary objective of this study is to develop and systematize the mathematical framework required to automate thermal calculations for ammonia-based refrigeration systems. A comprehensive analytical review of literature sources and regulatory data regarding the properties of R717 has been conducted.

A set of approximation formulas is proposed for determining the key thermophysical parameters of ammonia within the operating temperature range of  $-50^{\circ}\text{C}$  to  $+50^{\circ}\text{C}$ . A comparative analysis of the obtained calculated values against standard tabular data was performed, identifying temperature zones with the highest margin of error. This approach eliminates the need for cumbersome tables and diagrams in favor of software-based calculation methods.

The practical significance of the results lies in creating a foundation for engineering software, which significantly accelerates the design of refrigeration systems and improves the accuracy of cycle calculations. Additionally, the thesis addresses issues of occupational safety and the safe operation of ammonia installations.

***Keywords: Ammonia, refrigerant R717, thermophysical properties, equation of state, approximation, refrigeration systems, energy efficiency, calculation automation.***

					00.KMP.142.003. 011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ОГЛЯД ХОЛОДОАГЕНТІВ	9
1.1. Вимоги до холодоагентів	9
1.2. Класифікація та маркування	10
1.3. Характеристика основних речовин	11
1.4. Вплив на екологію та нормативне регулювання	12
1.5. Кріоагенти	12
2. ПОНЯТТЯ «АМІАК»	13
2.1. Аміак чи хладон	14
2.2. Складнощі при створенні холодильного обладнання	16
2.3. Властивості аміаку	16
2.4. Цифрове позначення аміаку	17
2.5. Вплив аміаку на навколишнє середовище	18
3. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХЛАДОНУ R717	23
3.1. Вплив аміаку на людській організм	23
3.2. Термодинамічні властивості аміаку	24
3.3. Особливості зберігання та транспортування аміаку	25
3.4. Експлуатація аміаку в холодильних установках	32
3.5. Переваги й недоліки R717 і R404A	34
3.6. Залежність температури кипіння холодоагенту від тиску	39
3.7. Технічна характеристика аміаку	40
3.8. Густина, теплоємність, теплопровідність	41
4. РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АМІАКУ	47
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	57
5.1. Загальні правила техніки безпеки	57
5.2. Правила роботи з аміачними ХУ	61

5.3. Загальні заходи безпеки під час експлуатації торгового холодильного устаткування	69
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

					00.КМР.142.003. 011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

## ВСТУП

Аміак (R717) посідає унікальне місце в історії науки та техніки, будучи однією з найважливіших речовин для сучасної промисловості. Вперше у чистому вигляді він був виділений англійським натуралістом Джозефом Прістлі у 1774 році, який назвав його «лужним повітрям» (англ. Alkaline air). Вже через одинадцять років, у 1785 році, Клод Луї Бертолле встановив точний хімічний склад цієї сполуки, відкривши шлях до її подальшого вивчення.

Історія аміаку нерозривно пов'язана з двома напрямками: хімічним синтезом та технологіями штучного холоду. З кінця XIX століття гостро постала проблема отримання сполук азоту, оскільки природні поклади чилійської селітри виснажувалися. Прорив у цій галузі здійснив Фріц Габер, який у 1909 році, використовуючи принцип Ле Шательє та осмієвий каталізатор, довів можливість синтезу аміаку з азоту та водню під високим тиском. Промислова реалізація цього методу стала можливою завдяки інженеру Карлу Бошу, який створив великомасштабне обладнання для концерну BASF.

9 вересня 1913 року в Оппау (Німеччина) став до ладу перший у світі завод із синтезу аміаку. Це відкриття було настільки значущим, що Ф. Габер у 1918 році та К. Бош у 1931 році були удостоєні Нобелівських премій. На теренах колишнього СРСР виробництво синтетичного аміаку розпочалося у 1928 році на Чорноріченському хімічному комбінаті. Паралельно з хімічною промисловістю аміак завойовував позиції в енергетиці. Ще у 1859 році Фердинанд Карре запатентував аміачну абсорбційну холодильну машину, а з розвитком компресійної техніки наприкінці XIX століття аміак, завдяки своїм унікальним термодинамічним властивостям, став основним робочим тілом для промислових холодильних установок.

Сьогодні, в умовах глобальних екологічних викликів та відмови від озоноруйнівних хладонів, аміак (R717) переживає своєрідний ренесанс.

					00.КМР.142.003. 011.ПЗ	Арк.
						8
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. ОГЛЯД ХОЛОДОАГЕНТІВ

Холодоагент (англ. refrigerant) – це робоча речовина холодильної машини, яка під час кипіння (випаровування) при низькій температурі забирає тепло від охолоджуваного об'єкта, а після стиснення передає його охолоджувальному середовищу (воді, повітрю тощо) за рахунок конденсації.

Холодоагент є окремим випадком теплоносія. Важливою відмінністю є те, що звичайні теплоносії працюють в одному агрегатному стані, тоді як холодоагенти в холодильному циклі зазнають фазового переходу (рідина ↔ пара).

### 1.1. Вимоги до холодоагентів

Ідеальний холодоагент повинен відповідати комплексу термодинамічних, фізико-хімічних та фізіологічних вимог:

#### *Термодинамічні:*

Низька температура кипіння при тиску вище атмосферного (щоб уникнути підсмоктування повітря в систему та потрапляння вологи).

Помірний тиск конденсації (для зменшення металомісткості обладнання та навантаження на компресор).

Висока питома теплота пароутворення (дозволяє зменшити масову витрату агента та габарити компресора).

Висока теплопровідність для ефективного теплообміну у випарнику та конденсаторі.

#### *Фізико-хімічні:*

Хімічна стабільність та інертність до конструкційних матеріалів (мідь, сталь, алюміній, ущільнювачі) та мастил.

Сумісність з холодильними мастилами (достатня розчинність для повернення мастила в картер компресора).

Низька температура застигання.

Вимоги безпеки та екології:

					00.КМР.142.003.011.ПЗ	Арк.
						9
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нетоксичність, невибухонебезпечність та негорючість (або контрольована горючість).

Нульовий потенціал руйнування озону (ODP = 0).

Низький потенціал глобального потепління (GWP).

## 1.2. Класифікація та маркування

Маркування холодоагентів здійснюється за міжнародним стандартом ISO 817 (або ASHRAE 34) і складається з літери R (Refrigerant) та цифр, що вказують на хімічну структуру речовини.

Розшифрування коду R-хуз:

x (сотні) = кількість атомів вуглецю (C) мінус 1 (якщо нуль — не пишеться);

y (десятки) = кількість атомів водню (H) плюс 1;

z (одиниці) = кількість атомів фтору (F).

Серія 600: Органічні сполуки (наприклад, Ізобутан R600a).

Серія 700: Неорганічні сполуки (R + молекулярна маса). Наприклад, Аміак ( $\text{NH}_3$ , маса 17) - R717, Діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ , маса 44) - R744.

Еволюція поколінь холодоагентів:

I покоління (Природні, до 1930-х): Аміак (R717),  $\text{CO}_2$  (R744),  $\text{SO}_2$ . Ефективні, але часто токсичні або вимагають високого тиску. Сьогодні переживають "ренесанс" завдяки екологічності.

II покоління (CFC - Хлорфторвуглеці): R12, R11. Мали високий озоноруйнівний потенціал. Повністю заборонені Монреальським протоколом.

III покоління (HCFC - Гідрохлорфторвуглеці): R22. Мають менший вплив на озон, ніж CFC. Виведені з обігу в новому обладнанні в країнах ЄС та Україні.

IV покоління (HFC - Гідрофторвуглеці): R134a, R404A, R410A, R32. Озонабезпечні (ODP=0), але є парниковими газами (високий GWP). Регулюються Кігалійською поправкою.

					00.KMP.142.003. 011.ПЗ	Арк.
						10
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

V покоління (HFO - Гідрофторолефіни та Природні): R1234yf, R1234ze, R290 (пропан), R600a (ізобутан), R744 (CO<sub>2</sub>). Мають мінімальний вплив на довкілля (GWP < 5).

### 1.3. Характеристика основних речовин

Аміак (R717)

Належить до групи речовин середнього тиску.

Переваги: Висока енергоефективність, низька вартість, екологічна безпека (ODP=0, GWP=0).

Недоліки: Токсичний, горючий при певних концентраціях, агресивний до міді та її сплавів (вимагає використання сталевих трубопроводів). Традиційно використовується у великому промисловому холоді.

Вуглеводні (R600a, R290)

Ізобутан (R600a) та Пропан (R290).

Переваги: Відмінні термодинамічні властивості, природне походження. R600a є стандартом для побутових холодильників.

Недоліки: Вибухонебезпечні. Вимагають суворих заходів безпеки, герметичних електричних контактів та обмеженої заправки системи (для побутових приладів норма зазвичай складає до 150 г).

Сучасні синтетичні холодоагенти (HFC/HFO)

R134a: Довгий час був стандартом для автокондиціонерів та побутових холодильників. Зараз активно замінюється на R1234yf або R600a через високий GWP (1430).

R410A: Суміш (R32 + R125), що працює при високих тисках. Був стандартом для побутових кондиціонерів, наразі замінюється на R32.

R32: Однокомпонентна речовина, що має втричі менший GWP (675) порівняно з R410A та вищу ефективність. Належить до класу слабкозаймистих речовин (A2L).

					00.КМР.142.003. 011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

#### 1.4. Вплив на екологію та нормативне регулювання

Сучасна холодильна техніка розглядає дві ключові екологічні загрози:

Руйнування озонового шару (ODP — Ozone Depletion Potential):

Здатність речовини руйнувати стратосферний озон. За еталон (ODP=1.0) прийнято фреон R11.

Регулювання: Монреальський протокол (1987). Заборонив виробництво та споживання озоноруйнівних речовин (CFC, HCFC).

Парниковий ефект (GWP — Global Warming Potential):

Показник, що відображає, скільки тепла затримує газ в атмосфері порівняно з такою ж масою  $CO_2$  (для якого GWP=1) за період 100 років.

Приклад: Витік 1 кг R404A (GWP=3922) еквівалентний викиду майже 4 тонн  $CO_2$  (що дорівнює річному пробігу середнього автомобіля).

Регулювання: Кігалійська поправка до Монреальського протоколу (чинна з 2019 р.). Спрямована на поетапне скорочення використання Гідрофторвуглеців (HFC) та перехід на речовини з низьким GWP (HFO, природні гази).

#### 1.5. Кріоагенти

Слід розрізняти холодоагенти та кріоагенти.

Кріоагент — це речовина з температурою кипіння нижче  $-120^{\circ}C$  (153 K). До них належать азот, гелій, кисень, водень. Вони використовуються переважно у розімкнутих циклах (випаровування в атмосферу) або для отримання наднизьких температур у наукових та медичних цілях (наприклад, МРТ).

					00.КМР.142.003. 011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

## 2. ПОНЯТТЯ «АМІАК»



### Аміак (R717)

Належить до групи речовин середнього тиску.

**Історична довідка:** Назва «аміак» (в європейських мовах — *ammonia*) походить від оазису Амона в Північній Африці, розташованому на перехресті караванних шляхів. У жаркому кліматі сечовина  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , що міститься в продуктах життєдіяльності тварин, розкладається особливо швидко, виділяючи аміак. За іншою версією, назва походить від давньоєгипетського слова «амоніан» - так називали людей, які поклонялися богу Амону. Під час ритуальних обрядів вони використовували мінерал нашатир  $(\text{NH}_4\text{Cl})$ , який при нагріванні випаровує аміак.

- **Переваги:** Висока енергоефективність, низька вартість, екологічна безпека (ODP=0, GWP=0).
- **Недоліки:** Токсичний, горючий при певних концентраціях, агресивний до міді та її сплавів (вимагає використання сталевих трубопроводів). Традиційно використовується у великому промисловому холоді.

						00.КМР.142.003. 011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			13

## 2.1. Аміак чи хладон

Питання про вибір холодоагенту при будівництві або реконструкції підприємств стає все більш актуальним. Це пов'язано з тим, що, з одного боку, більшість вітчизняних аміачних холодильних установок фізично і морально застаріло, аміачне холодильне обладнання вислужитися ресурсні терміни експлуатації, а з іншого боку, холодильні фірми вважають за краще постачати фреоновіобладнання.

У прихильників аміаку і фреону є свої аргументи, і в статті зроблена спробував їх викласти у вигляді невеликої дискусії між умовними постатями - «фреон» і «аміак». Третьою стороною, висловлювали короткі більш-менш об'єктивні зауваження, є «Арбітр».

**ФРЕОН:** - Аміак токсичний. Навіть в невеликих концентраціях (наприклад, при ремонтних викидах) він може бути смертельно небезпечним для персоналу.

**АМІАК:** - Аміак менш небезпечний для людини, так як його різкий запах дозволяє легко виявити і усунути витік. Що ж стосується ремонтних робіт, персонал повинен використовувати індивідуальні засоби захисту.

**ФРЕОН:** - Якщо відбувається великий витік, загроза створюється не тільки для всього підприємства, а й для людей в довколишніх будівлях. Може навіть виникнути необхідність евакуації. До того ж аміачно-повітряна суміш вибухонебезпечна, і витік, в кінцевому рахунку, може призвести до серйозних руйнувань. Через це установки на його основі відносять до об'єктів підвищеної безпеки, а холодильне обладнання з використанням аміаку підлягає обов'язковій реєстрації в Держміськтехнагляді.

**АМІАК:** - Фреон важчий за повітря. Він витісняє його і здатний накопичуватися в приміщенні. Якщо людина потрапляє в таке приміщення, то у нього настає задуха. Причому при витоку фреону не буває застережливого ефекту, так як цей газ не має ні кольору, ні запаху. Крім того, при наявності відкритого полум'я або зіткненні з гарячою поверхнею фреон виділяє отруйний

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

фосген. До того ж аміак - це газ природного походження, він легший за повітря і його можна випустити в атмосферу, не заподіявши шкоди навколишньому середовищу. Фреони ж відносяться до озоноруйнуючим речовин.

**ФРЕОН:** - Більшість фреонових установок автоматизовано повністю, що взагалі виключає необхідність присутності персоналу. Що ж стосується витоків, проблему вирішує поява недорогих і надійних електронних газоаналізаторів, здатних зафіксувати витік і навіть передати повідомлення по моніторинговим системам.

**АРБИТР:** - Аміак більш небезпечний для людей, а фреон - для навколишнього середовища. При роботі з аміаком у підприємств і персоналу набагато більше організаційних і технічних проблем.

**АМІАК:** - Уже розроблені нові типи холодильних машин з малою заправкою аміаком, зміст якого зменшено в десятки разів у порівнянні зі стандартними рішеннями. Незначний вміст аміаку (від 5 до 150 кг) дозволяє не допустити його пожежевибухонебезпечної концентрації.

**ФРЕОН:** - Аналогічні машини випускаються і на фреонах. Більш того, в більшості з них можливе використання напівгерметичних компресорів, що виключають виток через сальник, характерні для відкритих машин.

**АМІАК:** - У аміаку є термодинамічні переваги: висока питома холодопродуктивність і звідси порівняно низькі витрати на електроенергію.

**ФРЕОН:** - На жаль, при низьких температурах кипіння аміачні машини працюють при тиску на всмоктуванні нижче атмосферного. Це призводить до можливості підсосу повітря в систему і до необхідності обладнання її дорогими воздухоотделителями. Крім того, для аміаку характерна висока температура нагнітання, яка може привести не тільки до розкладання масла, але і до його спалаху (через вміст повітря в системі). І, нарешті, прагнення знизити тиск і температуру нагнітання обмежує застосування в аміачних установках повітряних конденсаторів. При використанні водяних конденсаторів, як правило, потрібні градирні.

					00.MP.142.003.005.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

## 2.2. Складнощі при створенні холодильного обладнання

Додаткові складнощі при створенні холодильного обладнання викликає висока активність аміаку стосовно міді і мідних сплавів, тому трубопроводи, теплообмінники і арматуру виконують зі сталі. Через високу токсичність і горючості аміаку зварні з'єднання ретельно контролюють. Внаслідок високої електропровідності R717 утруднено створення напівгерметичних і герметичних компресорів. Разом з тим для промислових холодильних установок потужністю понад 20 кВт аміак - найкраща альтернатива.

## 2.3. Властивості аміаку

*Фізичні властивості:*

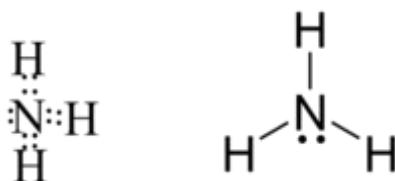
**Амоніак** — безбарвний газ з характерним різким запахом і їдким смаком. Він майже у два рази легший від повітря. При  $-33,35^{\circ}\text{C}$  і звичайному тиску аміак скраплюється в безбарвну рідину, а при  $-77,75^{\circ}\text{C}$  замерзає, перетворюючись у безбарвну кристалічну масу. Його зберігають і транспортують у рідкому стані в сталевих балонах під тиском 6—7 атм.

У воді аміак розчиняється дуже добре: при  $0^{\circ}\text{C}$  і звичайному тиску в 1 об'ємі води розчиняється близько 1200 об'ємів  $\text{NH}_3$ , а при  $20^{\circ}\text{C}$  — 700 об'ємів. Концентрований розчин містить 25%  $\text{NH}_3$  і має густину  $0,91 \text{ г/см}^3$ . Розчин аміаку у воді називають аміачною водою або нашатирним спиртом. Звичайний медичний нашатирний спирт містить до 10%:  $\text{NH}_3$ , амічна вода від 10% і більше. При нагріванні розчину аміак легко випаровується.

*Хімічні властивості:*

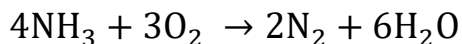
Молекули аміаку утворюються за допомогою ковалентних зв'язків.

Електронна і структурна формули молекули аміаку такі:

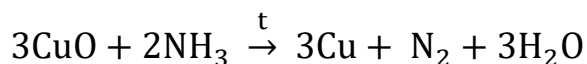


					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Однак зв'язки N — H в молекулі аміаку полярні, оскільки електронна пара зміщена до атома азоту. Тому атом азоту має негативний заряд, а атом водню - позитивний. Аміак є відновником, а сам звичайно окиснюється до вільного азоту. Так, в атмосфері кисню аміак горить за реакцією:



Амоніак також легко відновлює монооксид міді до металічної міді при високій температурі за реакцією:



### **Небезпека для людини**

При строгому дотриманні вимог техніки безпеки та охорони праці аміачні холодильні системи не становлять загрози життю і здоров'ю людей. Так, в США, де вимоги до безпеки аміачних установок досить суворі, Рада з безпеки в хімічній промисловості (СБХП) повідомляє, що інциденти з R717 складають 11% від всіх несанкціонованих викидів хімічних речовин, тобто, в середньому, один викид відбувається кожні п'ять днів, при цьому за десять років відбулося тільки чотири смертельні випадки. Це в 200 разів менше, ніж смертей від удару блискавки, зафіксованих в США за той же період.

### **2.4. Цифрове позначення аміаку**

За міжнародним стандартом ISO № 817-74 технічне позначення аміаку складається з літерного позначення R (від слова refrigerant) і цифрового позначення 717:

перша цифра праворуч - це число атомів фтору в з'єднанні;

друга цифра праворуч - це число атомів водню в поєднанні плюс одиниця;

третя цифра праворуч - це число атомів вуглецю в з'єднанні мінус одиниця (для з'єднань метанового ряду нуль опускається);

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						17
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

число атомів хлору в з'єднанні знаходять відніманням сумарного числа атомів фтору і водню із загального числа атомів, які можуть з'єднуватися з атомами вуглецю;

## 2.5. Вплив аміаку на навколишнє середовище

Випуск аміаку в атмосферу не приносить шкоди навколишньому середовищу. Реагуючи з вуглекислим газом і водою, присутніми в повітрі, аміак утворює нешкідливий двовуглекислий амоній ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ).

### Застосування аміаку

Застосовується для отримання максимально низьких температур, виробництва мінеральних добрив та інших органічних синтезах. Мінімальна енергія запалювання 680 мДж. Контакт аміаку з ртуттю, хлором, йодом, бромом, кальцієм, окисом срібла і деякими іншими хімічними речовинами може так само привести до утворення вибухових з'єднань. Аміак взаємодіє з міддю, цинком і їх сплавами, особливо в присутності води; розчиняє звичайну гуму.

Хоча аміак можна використовувати у випарник з повітряним охолодженням і рідинних охолоджувачах, він найбільш часто використовується в охолоджувачах зануренням. У таких застосуваннях експлуатуються відносно висока теплопровідність аміаку і подальше збільшення інтенсивності теплопередачі. Крім того, завдяки високому значенню прихованої теплоти, поряд з низькою щільністю рідини, це ідеальний холодоагент для систем з рециркуляцією рідини.

Завдяки нижчому робочому об'єму компресора R-717 (0,1 м / хв) можна використовувати його в ротаційних, відцентрових компресорах і компресорах відкритого типу. Конденсатори з аміаком зазвичай охолоджуються водою або парою. Але з ротаційним компресором і зниженням температури нагнітання в результаті конденсатор з повітряним охолодженням - також доречний вибір для деяких застосувань аміаку.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Аміак не змішується з маслом і, отже, не буде розчиняти його в картері компресора. Необхідно використовувати маслоотделитель в нагнітальному трубопроводі всіх систем з аміаком і створити умови для видалення масла з випарника. Хоча чистий аміак некоррозійний по відношенню до всіх металів холодильних систем, він небезпечний для кольорових металів, наприклад міді і латуні, при поглинанні вологи. Отже, не можна використовувати дані метали або інші мідні сплави в системах з R-717.

### **Теплові насоси (аміачні)**

На аміаку працюють багато теплових насосів. Так, в Норвегії працює тепловий насос потужністю 200 кВт. В системі циркулює близько 30кг аміаку, використані напівгерметичний компресор і пластинчасті теплообмінні апарати. Передбачені система контролю витoku аміаку і ефективна вентиляція. У теплових насосах типу HPLS заправка холодоагенту дорівнює 3 ... 6,7 кг при холодопродуктивності відповідно 37 ... 87 кВт і споживаної потужності 12 ... 31 кВт. Розглянуті охолоджувачі і теплові насоси мають невеликі габаритні розміри (довжина 1170мм, ширина 800мм, висота 1550мм). Очікується застосування аміаку в малих холодильних машинах для комерційних установок.

### **Вплив теплофізичних властивостей холодоагентів на ефективність теплових насосів**

У зв'язку з загостренням проблеми енергопостачання та дефіциту паливно-енергетичних ресурсів використання альтернативних методів опалення приміщень є важливою та актуальною задачею теплоенергетики. Одним з найбільш ефективних методів такого характеру є реалізація системи автономного теплопостачання на базі теплових насосів. В цьому об'єкті низкопотенційна теплота ґрунту або скидних рідинних та газових середовищ сприймається випарником установки та за допомогою компресора переводиться на більш високий температурний рівень, що дозволяє використовувати цю теплоту, зокрема в системах опалення житлових і промислових приміщень.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						19
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сьогодні на стадії проектування, створення та подальшої експлуатації необхідна методика розрахунку, яка дозволяє враховувати вплив термогідравлічної незворотності процесів в основних блоках і трубній обв'язці теплових насосів (ТН). Основу математичної моделі складають рівняння для теплоти, яка поглинається у випарнику і відводиться у конденсаторі ТН з урахування неізобарності процесів фазового перетворювання в цих блоках.

Окрім цього використовуються основні термодинамічні рівняння, а також банк даних теплофізичних властивостей хладагентів, за допомогою яких будується так званий дійсний цикл ТН. При заданій теплопродуктивності ТН для різних типів хладагентів R717, R22 та R134a проведені теплові розрахунки конденсатора і випарника з визначенням їх геометричних характеристик. Це дозволило розрахувати рівень гідравлічного опору основних блоків та елементів трубної обв'язки з подальшим визначенням методом послідовного наближення впливу означеного опору на ефективність циклу ТН. З метою узагальнення обчислювального експерименту та з метою встановлення взаємопов'язаного впливу основних незалежних факторів на ефективність ТН була зформована матриця проведення розрахункового експерименту, яка містила 59 окремих варіантів комбінацій незалежних факторів. До вказаних незалежних факторів були віднесені наступні: температури конденсації  $t_k$  та випарування  $t_v$ , опір конденсатора  $\Delta P_k$  та випарника  $\Delta P_v$ , а також опір лінії всмоктування  $\Delta P_{lv}$  перед компресором та тепловидатність ТН. На основі методу планування експерименту Бокса и Бенкена було отримано кореляційне рівняння для коефіцієнта трансформації енергії:

$$\mu = B_{00} + \sum_{i=1}^6 (B_{0i} \cdot X_i + B_{ii} \cdot X_i^2) + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=i+1}^6 (B_{ij} \cdot X_i \cdot X_j)$$

де  $B_{00}$  – вільний член;  $B_{0i}$  та  $B_{ii}$  – коефіцієнти при лінійних та квадратичних членах;  $B_{ij}$  – коефіцієнт при перехресних добутках;  $X_i$  – незалежні фактори в нормованому вигляді. Числові коефіцієнти цього рівняння були отримані для

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

трьох зазначених вище холодоагентів, що дозволило зробити наступні висновки.

1. Встановлено, що в циклах ТН при фіксованому значенні гідравлічного опору  $\Delta P_k$  у конденсаторі збільшення втрат тиску  $\Delta P_v$  у випарнику приводить до зменшення коефіцієнта трансформації  $\mu$ . При фіксованому  $\Delta P_v$  збільшення  $\Delta P_k$  приводить до підвищення  $\mu$ .

2. Найбільш суттєвий вплив на коефіцієнт трансформації  $\mu$  мають температурні межі циклу, тобто температури конденсації та випарування. Характерно, що цей вплив тим більший, чим вище температура конденсації і вище опір лінії всмоктування.

3. Порівняння ефективності циклу ТН при використанні різних холодоагентів продемонструвало, що найбільше значення коефіцієнту  $\mu$  отримується для холодоагента R717, тобто для аміаку.

4. Встановлено, що вплив теплогідравлічної незворотності є мінімальним для холодоагенту R717. Аналіз показав, що значення  $\mu$  тим більше, а вплив гідравлічного опору тим нижче, чим більше теплота пароутворення і менша молекулярна маса холодоагенту.

### **Аміачні водяні охолоджувачі-чиллери**

Аміачні водяні охолоджувачі-чиллери з пластинчастими апаратами фірми "Alfa-Laval", розроблені фірмою "York Refrigeration", характеризуються мінімальною кількістю заправленого холодоагенту. Так, в високотемпературних охолоджувачах HTLS заправка холодоагенту становить 3.7 ... 8.5 кг при холодопродуктивності відповідно 60 ... 140 кВт і споживаної потужності 14 ... 35 кВт, в середнетемпературних MTLS - 3.1 ... 6 кг при холодопродуктивності 32 ... 63 кВт і споживаної потужності 12 ... 24 кВт, в низькотемпературних LTLS - 2.6 ... 4.5 кг при холодопродуктивності 9 ... 19 кВт і споживаної потужності 7 ... 17 кВт.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						21
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У теплових насосах типу HPLS заправка холодоагенту дорівнює 3 ... 6,7 кг при холодопродуктивності відповідно 37 ... 87 кВт і споживаної потужності 12 ... 31 кВт.

Розглянуті охолоджувачі і теплові насоси мають невеликі габаритні розміри (довжина 1170мм, ширина 800мм, висота 1550мм).

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

### 3. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОДОАГЕНТУ R717

Одним із суттєвих недоліків аміаку є вищий показник адіабати порівняно з R22 та R12, що призводить до значного підвищення температури нагнітання. У зв'язку з цим висуваються жорсткі вимоги до термічної стабільності холодильних олив, що використовуються в суміші з аміаком протягом тривалого часу експлуатації. Також це вимагає застосування конденсаторів із розвиненою поверхнею теплообміну, що, своєю чергою, збільшує їхню металоємність.

Аміак має надзвичайно високе значення питомої теплоти пароутворення, наслідком чого є порівняно мала масова витрата циркулюючого холодоагенту (13...15% порівняно з R22). Це є позитивною властивістю для великих промислових установок, проте значно ускладнює регулювання подачі аміаку у випарник в установках малої потужності.

#### 3.1. Вплив аміаку на людський організм та безпека

Аміак ( $\text{NH}_3$ ), він же холодоагент R717, є токсичним газом. У малих концентраціях він має різкий характерний запах, а у великих — становить безпосередню загрозу життю та здоров'ю людини.

Таблиця 3.1 — Вплив концентрації аміаку на організм людини

Концентрація у повітрі, ppm	Симптоми у дорослих здорових людей
< 25	Відчувається запах. ГДК згідно з ACGIH.
30	Відчувається дискомфорт, бажана додаткова подача свіжого повітря. Максимальний час перебування — 15 хвилин (згідно з ACGIH).
50	ГДК згідно з OSHA.
100	Помірне подразнення очей, горла та слизових оболонок. Може тривати протягом 1-2 тижнів. Відкладені ефекти не очікуються.
140	Помітне подразнення очей. При впливі менше 2-х годин відкладені ефекти не очікуються.
400	Помітне подразнення дихальних шляхів, руйнування слизових оболонок при впливі понад 1 годину.
500	Пряма загроза життю.
1000	Роз'їдає дихальні шляхи (хімічні опіки).
1700	Смертельний при короткому (менше 30 хвилин) впливі.
5000	Смертельний практично миттєво.

> 15000	Необхідний повний захист поверхні тіла (хімзахист) та органів дихання.
160 000 – 170 000	Пожежонебезпечний (легко займається). Нижня межа вибухонебезпечної концентрації — 15-16%, верхня — 28-30% (залежно від температури).

### Фізико-хімічні ризики

Аміак рідкий технічний (аміак безводний, R717) — горючий токсичний газ. Суміш аміаку з повітрям є вибухонебезпечною. Максимальний тиск під час вибуху аміачно-повітряної суміші у 7 разів перевищує початковий.

- **Температура самозаймання:** 630 °С.
- **Найбільш легкозаймиста концентрація:** 24,5% ( $\geq 180$  г/м<sup>3</sup>).
- **Мінімальна енергія запалювання:** 680 мДж.

Аміак активно взаємодіє з міддю, цинком та їхніми сплавами (особливо у присутності води), тому трубопроводи аміачних установок виготовляють зі сталі. Також він розчиняє звичайну гуму. Контакт аміаку з ртуттю, хлором, йодом, бромом, кальцієм та оксидом срібла може призвести до утворення вибухонебезпечних сполук.

### 3.2. Термодинамічні властивості аміаку

За термодинамічними властивостями аміак є одним із найефективніших холодоагентів. За об'ємною холодопродуктивністю він значно перевершує R12, R11, R22 та R502.

Ключові переваги:

1. **Високий коефіцієнт тепловіддачі:** Це дозволяє використовувати в теплообмінних апаратах труби меншого діаметра за заданої холодопродуктивності, зменшуючи габарити обладнання.
2. **Низька вартість:** R717 є дешевим та доступним природним робочим тілом.
3. **Легкість виявлення витоків:** Завдяки різкому запаху навіть незначні витoki (leakage) легко ідентифікуються персоналом без спеціальних приладів.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Саме з цих причин R717 знайшов широке застосування у великих промислових холодильних установках, на підприємствах харчової промисловості та в системах холодопостачання логістичних центрів.

### **3.3 Особливості зберігання та транспортування аміаку**

Аміак відноситься до вантажів категорії "Скраплені гази", володіє токсичними властивостями. Перевозиться аміак в спеціальних цистернах, які є власністю підприємств-вантажовідправників або орендованих ними.

Цистерни повинні задовольняти вимогам "Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском ", правилам і нормам МПС.

Захисні ковпаки, що закривають арматуру (запобіжний клапан, вентиля таманометродержатель) цистерн, повинні бути опломбовані.

Вимірювачі рівня можуть бути трипозиційні - показують за допомогою контрольних трубок, опущених в цистерну на різну глибину, або безперервно показують. Вітчизняні цистерни оснащені трьома контрольними трубками з вентилями: нижня - для контролю зливу, дві верхні - для контролю наповнення, висота установки яких відповідає 83 і 85% повного обсягу цистерни.

Манометр на цистерні призначається для контролю тиску при гідравлічних випробуваннях.

#### **Заповнення цистерн аміаком**

Всі операції по наливу рідкого аміаку повинні виконуватися в суворій відповідності з технологічним регламентом складу аміаку або наливної пункту.

З кожною партією товару, що відвантажується аміаку повинен бути відправлений паспорт (сертифікат), засвідчує якість аміаку, яке повинно задовольняти вимогам діючих технічних умов.

Паспорт аміаку, відбір проб і методи аналізу повинні відповідати вимогам ГОСТ 6221-82. Місця відбору проб для аналізу аміаку в сховищах повинні визначатися технологічним регламентом.

Налив аміаку в цистерни зі сховищ, що працюють під надлишковим тиском, може здійснюватися передавлювання шляхом створення різниці тисків між сховищем і цистерною або перекачуванням насосами. При цьому

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

витісняється з цистерни і утворюється за рахунок часткового закипання газоподібний аміак повинен відводитися постійно. Необхідна різниця тисків може забезпечуватися як шляхом відсмоктування газоподібного аміаку з цистерн і подачі його в випорожнюються сховища, так і шляхом постійного відведення для використання в виробництві (в газгольдер, установку конденсації, приготування аміачної води та ін.).

Конкретна схема наливу і відведення газоподібного аміаку повинна передбачатися проектом і встановлюватися технологічним регламентом.

З ізотермічних сховищ, що працюють під тиском, близьким до атмосферного, рідкий аміак в цистерни може наливатися тільки за допомогою насосів. При цьому температура аміаку може бути 239,8 К (-33,3 град. С) і вище.

Операції по наливу цистерн рідким аміаком можуть бути розпочаті лише після огляду цистерн персоналом наливної пункту і отримання письмового дозволу в Акті огляду і наливу цистерн.

Перед початком операцій по наливу необхідно звірити номери цистерн, поданих для наливу, з номерами, зазначеними в Акті огляду і наливу цистерн, і переконатися в наявності письмового дозволу на налив по кожній цистерні. Після цього слід перевірити надійність кріплення рукавів до патрубків і стан фланцевих з'єднань на трубопроводах і цистерні і лише тоді можна відкривати вентилі. Налив цистерни слід вести, підтримуючи в ньому мінімальне тиск за рахунок повного відкриття газового вентиля цистерни при максимальному тиску в трубопроводі рідкого аміаку від наявного джерела тиску (сховище, насос і ін.).

Для скорочення часу наливу рекомендується наливати цистерну через наявні на ній два рідинних вентиля, для чого кожна точка наливу повинна бути обладнана двома рукавами, приєднаними до колектора рідкого аміаку.

Примітка. При різкому скиданні тиску з цистерни (тобто велику витрату газу через газовий трубопровід) можливе закриття швидкісного клапана, встановленого на газовому трубопроводі цистерни, тобто перекриття цього трубопроводу. В цьому випадку необхідно зменшити витрату рідкого

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

аміаку в цистерну, прикривши вентиль подачі аміаку, встановлений на трубопроводі-відвід у рукава.

Налив цистерни повинен бути негайно припинений, якщо маса налитого аміаку дорівнює вантажопідйомності цистерни або рівень налитого аміаку буде в межах 83 - 85% об'єму цистерни.

Переповнення цистерн категорично забороняється.

Примітка. Повне використання вантажопідйомності цистерн (при визначенні маси аміаку за рівнем за допомогою контр

Для контролю наповнення цистерн трьохпозиційним вимірником рівня за допомогою контрольних трубок слід під час наливу періодично відкривати вентиль нормального рівня (83% обсягу). При виході з нього газу налив повинен бути продовжений до моменту виходу рідини.

Після закінчення наливу необхідно відкрити контрольний вентиль верхнього граничного рівня, відповідного 85% обсягу цистерни. Вихід з нього газу означає, що рівень знаходиться в допустимих межах, а вихід рідини - що цистерна переповнена. Недолив цистерн не допускається. У разі недоливу в цистерну має бути додано відсутню кількість аміаку, а в разі переповнення надлишковий аміак повинен бути негайно злитий, для чого на кожному наливному пункті повинні бути передбачені відповідні ємності і трубопроводи. Для цієї мети можуть використовуватися наливні трубопроводи аміаку і складські сховища

### **Перевезення рідкого аміаку**

Перевезення цистерн з рідким аміаком повинна здійснюватися відповідно до "Правил перевезень вантажів" з віднесенням вантажу в цистернах рідкого аміаку до вантажам категорії "Зріджений газ" і з дотриманням вимог "Правил безпеки та порядку ліквідації аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізницею".

Відповідальність за справність цистерни, правильність заповнення (слива) і безпеку цистерни для перевезення покладається на її відправника.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						27
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі відчеплення цистерни від поїзда через витік аміаку адміністрація підприємства -власника цистерн або підприємства-налівщика зобов'язана при отриманні відповідного повідомлення відрядити до місця стоянки відчепленої цистерни бригаду фахівців з усунення аварії цистерн з необхідними інструментами і пристосуваннями.

Ремонт відчепленої цистерни з вигоком аміаку, а також її відправку на найближчий сливно-наливної пункт зобов'язана негайно виконувати виїзна бригада підприємства- налівщика або підприємства-власника цистерни, від якого потрібно істотно менше часу для проїзду до місця стоянки відчепленої цистерни. Конкретне рішення про виклик бригади приймається в порядку, встановленому правилам. Підприємство-налівщик, яка не є власником відчепленої цистерни, має бути інформовано підприємством-власником про несправності цистерни із зазначенням станції, на якій знаходиться цистерна, і характеристики несправності.

Про несправності аміачної цистерни в дорозі повинен бути складений документ (акт, висновок, протокол тощо), в якому повинні бути вказані: характер несправності або аварії; причини її виникнення; заходи, прийняті до її ліквідації; можливість подальшого проходження цистерни. У складанні документа повинні брати участь представники залізниці, відповідальні представники підприємства-власника і підприємства-налівщика.

На шляху прямування ремонт ходових частин, гальмівних і запряжних приладів цистерн повинен виконуватися персоналом залізниці з дотриманням вимог безпеки, регламентованих "Правилами перевезення вантажів" Укрзалізницею.

Транспортування цистерн і бочок повинно здійснюватись згідно з правилами відповідних транспортних міністерств. Таблиця 3

Назва газу Маса газу на 1 л місткості цистерни або бочки, кг, не більше

Місткість цистерни або бочки на 1 кг газу, л, не менше

Азот 0,770 1,30

Аміак 0,570 1,76

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Бутан 0,488 2,05

Бутилен 0,526 1,90

### **Балони**

Балони мають розраховуватися і виготовлятися за НД, узгодженою з Держнаглядом праці України.

Балони повинні мати вентиля, щільно вкручені в отвори горловини або у витратно-наповнювальні штуцери у спеціальних балонах, що не мають горловини. Балони для стиснених, зріджених і розчинених газів місткістю більше 100 л повинні бути забезпечені паспортом (додаток 3). На балони місткістю понад 100 л повинні встановлюватися запобіжні клапани. При груповому встановленні балонів допускається встановлення запобіжного клапана на всю групу балонів.

Балони місткістю понад 100 л, які встановлюються як витратні ємності для зріджених газів, що використовуються як паливо на автомобілях та інших транспортних засобах, крім вентиля і запобіжного клапана повинні мати показник максимального рівня наповнення. На таких балонах також допускається встановлення спеціального наповнювального клапана, вентиля для відбирання газу в пароподібному стані, показника рівня зрідженого газу в балоні і спускної пробки.

Бокові штуцери вентилів для балонів, які наповнюються воднем та іншими горючими газами, повинні мати ліву різьбу, а для балонів, які наповнюються киснем та іншими негорючими газами, – праву різьбу.

Вентилі в балонах для кисню повинні вкручуватись із застосуванням ущільнювальних матеріалів, загоряння яких в середовищі кисню виключається.

На верхній сферичній частині кожного металевого балона повинні бути вибиті (чітко видні) такі дані:

- 1) товарний знак підприємства-виготовлювача;
- 2) номер балона;
- 3) фактична маса порожнього балона (кг): для балонів місткістю до 12 л включно – з точністю до 0,1 кг; понад 12 до 55 л включно – з точністю до 0,2 кг;

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

маса балонів місткістю понад 55 л указується відповідно до НД на їх виготовлення:

4) дата (місяць, рік) виготовлення і наступного опосвідчення;

5) робочий тиск (Р), МПа (кгс/см<sup>2</sup>);

6) пробний гідравлічний тиск (П), МПа (кгс/см<sup>2</sup>);

7) місткість балонів, л:

для балонів місткістю до 12 л включно—номінальна;

для балонів місткістю понад 12 до 55 л включно – фактична з точністю до 0,3 л;

для балонів місткістю понад 55 л – відповідно до НД на їх виготовлення;

8) клеймо ВТК підприємства-виготовлювача круглої форми діаметром 10 мм (за винятком стандартних балонів місткістю понад 55 л);

9) номер стандарту для балонів місткістю понад 55 л.

Висота знаків на балонах повинна бути не менше 6 мм, а на балонах місткістю 55 л – не менше 8 мм.

Маса балонів, за винятком балонів для ацетилену, вказується з урахуванням маси нанесеної фарби, кільця для ковпака і башмака, якщо такі передбачені в конструкції, але без маси вентиля і ковпака.

### **Фарбування і нанесення написів на балони**

Фарбування балонів і написи на них можуть виконуватися масляними, емалевими або нітрофарбами.

Фарбування наново виготовлених балонів і нанесення написів здійснюється підприємствами-виготовлювачами, а під час експлуатації – наповнювальними станціями або випробувальними пунктами.

Маркірування та фарбування неметалевих балонів повинні проводитися у відповідності до ТУ на балон.

Аміак рідкий технічний (аміак безводний, аміак газоподібний, нітрид водню, R717) заливають в сталеві посудини, що працюють під тиском. Коефіцієнт заповнення не більше 0,5 кг на 1 дм<sup>3</sup> місткості посудини. Зберігають в складських приміщеннях відповідної категорії, під навісом або на відкритому

					00.МР.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

повітрі, виключаючи попадання сонячних променів. Транспортують усіма видами транспорту у відповідності з правилами перевезення небезпечних вантажів.

На підприємство аміак доставляється в автомобільних цистернах.

На підприємстві аміак зберігається в 40 літрових балонах які призначені для зберігання та транспортування аміаку.

Балон комплектується аміачнім вентилям, кільцем горловини, запобіжним Металевий Ковпака. Балон фарбується в жовтий колір та маркується чорним напис "АММИАК".

Температура охолодження рідкого аміаку, вимірюється на фланці, з'єднуючим трубопроводи загрузочній Лінії танкера, та не повинна перевищувати  $-31,5^{\circ}\text{C}$



					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



### 3.4 Експлуатація аміаку в холодильних установках

Незважаючи на досить великий питомий об'єм пари, висока питома холодопродуктивність аміаку забезпечує ефективну роботу при відносно невеликому робочому об'ємі циліндрів компресора. Додатковою перевагою є екологічна безпека R717 (ODP=0, GWP=0).

#### Основні сфери використання:

- Молокозаводи та маслоробні комбінати;
- Фабрики з виробництва морозива;
- Підприємства із заморожування харчових продуктів (риби, птиці, м'яса);
- Овочесховища та фруктосховища;
- Логістичні склади низькотемпературного зберігання;
- Великі винні заводи;
- Льодозаводи;
- Підприємства хімічної промисловості.

#### Розрахункові параметри системи (для стандартного циклу):

1. **Точка кипіння** (при атмосферному тиску):  $-33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (виправлено зі помилкового значення  $-2,22\text{ }^{\circ}\text{C}$  у джерелі).
2. **Тиск у випарнику** (при  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ):  $237\text{ кПа}$  ( $2,37\text{ бар}$ ).
3. **Тиск у конденсаторі** (при  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ):  $1167\text{ кПа}$  ( $11,67\text{ бар}$ ).
4. **Питомий об'єм пари на всмоктуванні**:  $0,51\text{ м}^3/\text{кг}$ .

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						32
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. **Питома холодопродуктивність:** 1102 кДж/кг.
6. **Масова витрата холодоагенту** (на 1 тону охолодження): 0,191 кг/хв.
7. **Ступінь стиснення:** 4,94.
8. **Температура нагнітання компресора:** 98,9 °С.
9. **Питома потужність на привід:** 737,8 Вт/TR (на 1 тону охолодження).
10. **Холодильний коефіцієнт (COP):** 4,77.

Помірний робочий тиск у системах з аміаком дозволяє використовувати стандартні конструкційні матеріали для теплообмінників. Однак, через високу температуру нагнітання, необхідно мінімізувати перегрів пари на всмоктуванні. Для зменшення теплового напруження та зносу деталей циліндро-поршневої групи, головки циліндрів та самі циліндри компресорів часто оснащують сорочками водяного охолодження.

Аміак ефективно використовується як у випарниках з повітряним охолодженням, так і в рідинних чилерах (chillers), але найчастіше його застосовують у системах занурювального типу (панельні випарники) або кожухотрубних апаратах. У таких застосуваннях реалізується висока теплопровідність аміаку, що збільшує інтенсивність теплопередачі.

Завдяки високій питомій теплоті пароутворення та низькій густині рідини, R717 є ідеальним холодоагентом для насосно-циркуляційних схем (систем з рециркуляцією рідини).

#### Компресорне обладнання та конденсатори

Завдяки відносно невеликому об'ємному витраті газу, аміак можна використовувати в поршневих, гвинтових, ротаційних та відцентрових компресорах відкритого типу.

Конденсатори аміачних установок зазвичай охолоджуються водою (випарні конденсатори) або проміжним теплоносієм. Однак, при використанні сучасних гвинтових компресорів з олійним охолодженням, що знижує температуру нагнітання, можливе використання конденсаторів повітряного охолодження.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

## Експлуатаційні особливості: олива та герметичність

### Взаємодія з оливою

Аміак обмежено розчинний у мінеральних оливах, тому він не розчиняє їх у картері компресора, а утворює окремий шар. Це вимагає встановлення високоефективних оливовіддільників на лінії нагнітання та передбачення систем повернення оливи (часто через спеціальні відстійники у випарниках), оскільки олива, що потрапила у теплообмінники, погіршує теплопередачу (має "ізолюючий" ефект).

### Сумісність матеріалів

Чистий аміак не викликає корозії чорних металів. Однак він агресивний до кольорових металів (міді, латуні, цинку, бронзи) у присутності навіть незначної кількості вологи. Тому використання мідних труб або фітингів у системах з R717 категорично заборонено. Трубопроводи виготовляють із безшовної сталі.

### Пошук витоків

Системи з R717 перевіряють на герметичність двома основними методами:

- Сірчані гноти (палички):** При піднесенні запаленого сірчаного гнота до місця витoku утворюється густий білий дим (реакція аміаку з діоксидом сірки).
- Мильний розчин:** Нанесення розчину на з'єднання труб дозволяє виявити витік за появою бульбашок.
- Індикаторний папір:** Фенолфталеїновий папір стає малиновим при контакті з парами аміаку.

Доступність, низька вартість, відмінні термодинамічні властивості та екологічність роблять аміак ідеальним вибором для великих промислових систем, де забезпечено професійний нагляд за безпекою.

### 3.5 Переваги й недоліки R717 і R404A

В рамках проекту «Удосконалення холодильного обладнання в Європі» (ICE-E) був опублікований звіт, в якому перераховані основні переваги та недоліки холодоагентів, найчастіше використовуваних в холодних складах і на харчовому виробництві, а саме R404A і R717 (аміак). Розбір проводився на

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

прикладі компресійних чиллерів. Згідно зі звітом в Європі, незважаючи на зростаючу популярність аміаку, R404A залишається досить поширеним холодоагентом. У Північній Америці, навпаки, лідирує аміак, як мінімум в великих охолоджуваних складах і терміналах.



З точки зору залежності тиску від температури насичення, об'ємної холодопродуктивності і термодинамічної ККД оптимального контрольного циклу ці холодоагенти можна назвати взаємозамінними. У зв'язку з цим в інформаційному документі «Холодоагенти» з інформаційного пакета ICE-E застосовуються інші критерії аналізу основних переваг та недоліків R404A і R717: вартість холодоагенту, виявлення витоків, відповідність вимогам охорони навколишнього середовища або сумісність холодоагенту з іншими матеріалами.

### **Переваги аміаку перед R404A**

До переваг аміаку перед R404A відносяться вартість, коефіцієнт теплопередачі, розмір трубопроводу, взаємодія з водою, простота виявлення витоків, відповідність вимогам охорони навколишнього середовища.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

•**Вартість.** На даний момент вартість кілограма безводного аміаку, використовуваного в холодильному обладнанні, в кілька разів нижче вартості R404A. Якщо порівнювати вартість однакового обсягу двох взаємозамінних рідин, виходить, що аміак вдвічі дешевше R404A, так як в рідкому стані щільність R404A в два рази більше щільності аміаку.

•**Теплопередача.** Переваги, які забезпечує високим коефіцієнтом теплопередачі аміачного холодоагенту, можна використовувати двояко. З одного боку, зменшивши поверхню теплообміну, можна знизити вартість установки. З іншого боку, зменшивши різницю температур з рідинами в зовнішньому контурі, можна підвищити коефіцієнт теплопередачі установки і знизити вартість її експлуатації.

•**ККД процесу стиснення.** Завдяки використанню аміаку в поршневих компресорах підвищується ізоентропійний ККД стиснення. При цьому економія енергії відносно невелика: не вище 10%. Використання аміаку в гвинтових компресорах також позитивно впливає на ККД стиснення, але в цьому випадку економія енергії збільшується пропорційно підвищенню ступеня стиснення.

•**Трубопровід.** Перевага аміаку перед галоїдамещеними холодоагентами полягає в тому, що для нього потрібно трубопровід меншого діаметру, як в газоподібній фазі при високому або низькому тиску, так і в рідкій фазі в затопленому випарнику, куди холодоагент подається насосом.

•**Взаємодія з водою.** При нормальних робочих умовах в холодоагенті можуть бути присутніми сліди води через недостатнє осушення установки або в результаті просочування через місця витоків в ті частини холодильного контуру, де тиск нижче атмосферного. З R404A вода не змішується і може замерзнути на вхідному або вихідному отворі дросельного пристрою, що призведе до зупинки роботи. З аміаком вода залишається в суміші, і це не має ніяких шкідливих наслідків. Для запобігання хімічної реакції з мастилом, освіти органічних кислот з

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						36
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

корозійними властивостями, концентрація води в аміаку не повинна перевищувати 300 м. Д.

•**Виявлення витоків.** Присутність аміаку легко відчути по запаху, відчувається вже при концентрації в повітрі 50 м. Д. Оскільки у R404A запаху немає, то його витік стає помітною лише після виходу здебільшого холодоагенту. Все це призводить до зупинки робочого процесу і економічним збитком.

•**Взаємодія з мастилом.** Оптимальним рішенням у цьому випадку є великий централізований холодильний контур безпосереднього випаровування із затопленими випарниками і окремими джерелами живлення. У ньому аміак і мастило не змішуються, що виключає можливість утворення бульбашок. Для видалення невеликої кількості мастила, що потрапляє в холодильний контур, використовують спеціальні маслоуловітелі, що розміщуються в тих частинах установки, де відбувається осадження мастила внаслідок її більшої щільності, ніж у рідкого аміаку. З маслоуловітелів мастило перенаправляється в картер компресора.

•**Відповідність вимогам охорони навколишнього середовища.** Випуск аміаку в атмосферу не приносить шкоди навколишньому середовищу. Реагуючи з вуглекислим газом і водою, присутніми в повітрі, аміак утворює нешкідливий двовуглекислий амоній ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ).

R404A ж відноситься до речовин з відносно високим потенціалом глобального потепління - 3260. Внаслідок цього використання R404A і інших ДФУ в великих кількостях обмежено законодавством, яке стає все більш і більш суворим. До переваг R404A перед аміаком відносяться взаємодія з матеріалами, кінцева температура адіабатичного стиснення і безпеку.

•**Взаємодія з матеріалами.** У той час як R404A повністю сумісний з поширеними металами (сталь, алюміній, мідь і їх сплави), аміак (при наявності в ньому води) агресивно реагує з міддю, цинком і їх сплавами. Таким чином, єдиним придатним матеріалом для установок з аміаком є

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						37
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сталь, а використання звичайних граматичних і напівгерметичних компресорів виключено. Однак у великих централізованих установках це обмеження не грає великої ролі.

• **Кінцева температура адіабатичного стиснення.** Кінцева температура адіабатичного стиснення аміаку набагато вище, ніж у R404A. Висока температура вихідних газів, як правило, сильно знижує ККД внаслідок необхідності усунення перегріву, а втрати при перегріванні не компенсуються втратами на дроселювання і в поршневих компресорах, що зменшує максимальну ступінь одноступінчастого стиснення в установках з аміаком. В установках з гвинтовими компресорами це властивість аміаку можна практично не брати до уваги, так як в фазі стиснення відбувається рідинне охолодження масла, що впорскується в компресор. Слід зазначити, що висока ступінь перегріву у аміаку може стати перевагою при утилізації теплової енергії з перегрітої пари. Регенерація тепла з маслоохладителів гвинтових компресорних агрегатів, в яких в якості холодоагенту використовується аміак, все частіше стає звичайною практикою.

• **Горючість і токсичність.** Згідно зі Стандартом 34-2010 ASHRAE ANSI / ASHRAE холодоагент R404A відноситься до групи безпеки A1, а аміак - B2 (горючі і токсичні речовини). Температура спалаху чистого R404A становить 728° С, аміаку - 630° С. Практичний межа (максимальна концентрація в житловому приміщенні, що не вимагає негайного реагування, наприклад, термінової евакуації людей) R404A становить 0,48 кг/м<sup>3</sup>, аміаку - 0,00035 кг/м<sup>3</sup>. Однак запах аміаку служить попереджувальним сигналом, в той час як концентрація R404A може зростати непомітно.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						38
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.6. Залежність температури кипіння холодоагенту від тиску

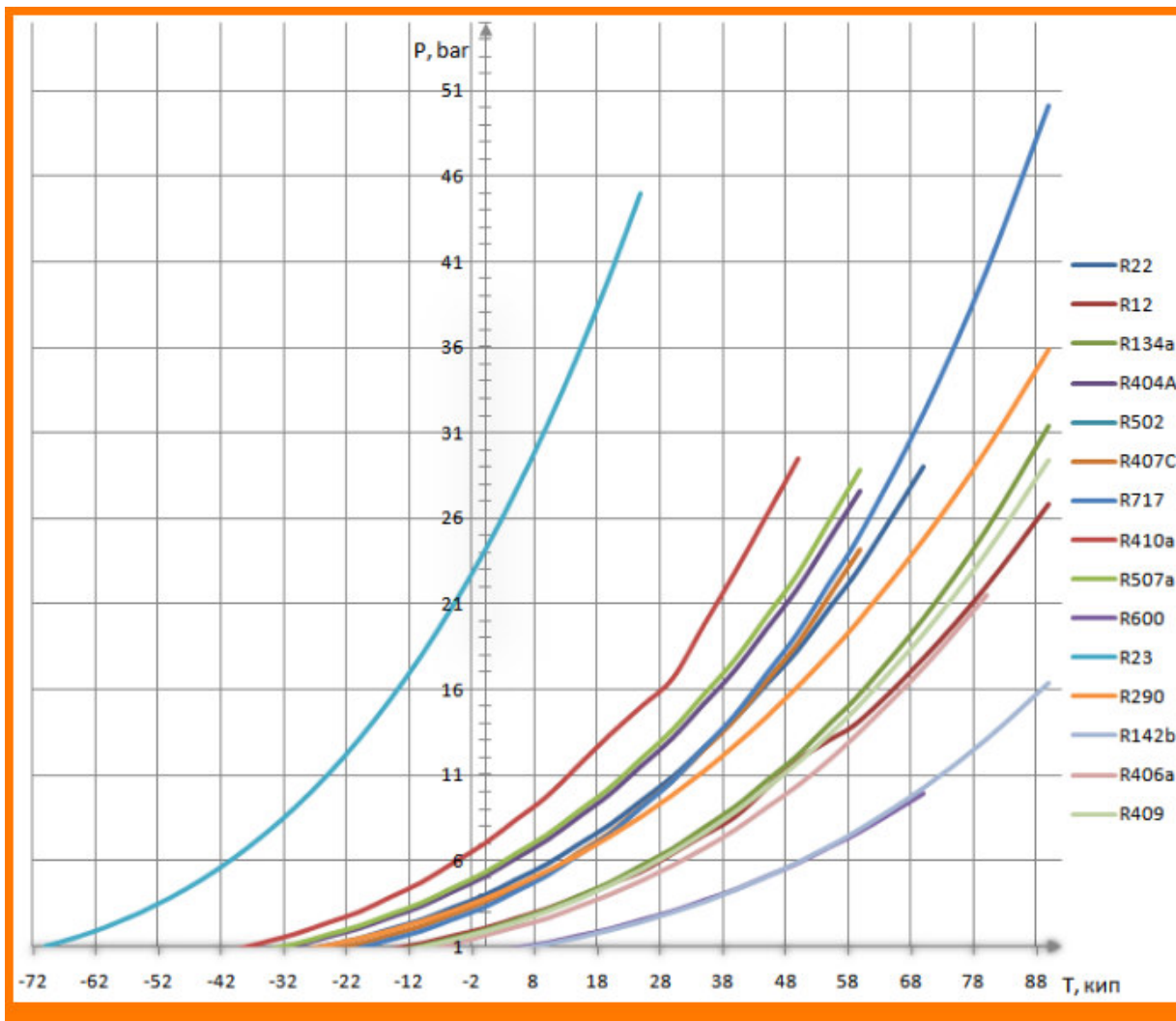
t °C	R22	R12	R134	R404a	R502	R407c	R717	R410a	R507a	R600	R23	R290	R142b	R406a	R409A
-70	-0,81	-0,88	-0,92	-0,74	-0,72	-	-0,89	-0,65	-0,72	-	0,94	-	-	-	-
-65	-0,74	-0,83	-0,88	-0,63	-0,62	-	-0,84	-0,51	-0,61	-	1,48	-	-	-0,94	-
-60	-0,63	-0,77	-0,84	-0,52	-0,51	-0,74	-0,78	-0,36	-0,50	-	2,12	-	-	-0,9	-
-55	-0,49	-0,69	-0,77	-0,35	-0,35	-0,63	-0,69	-0,22	-0,32	-	2,89	-	-	-0,83	-
-50	-0,35	-0,61	-0,70	-0,18	-0,19	-0,52	-0,59	0,08	-0,14	-	3,8	-	-	-0,8	-
-45	-0,2	-0,49	-0,59	-0,11	-0,14	-0,34	-0,44	0,25	-0,02	-	4,86	-	-	-0,66	-
-40	0,05	-0,36	-0,48	0,32	0,30	-0,16	-0,28	0,73	0,39	-0,71	6,09	0,12	-	-0,62	-
-35	0,25	-0,18	-0,32	0,68	0,64	-0,06	-0,24	1,22	0,77	-0,62	7,51	0,37	-	-0,4	-
-30	0,64	0,00	-0,15	1,04	0,98	0,37	0,19	1,71	1,15	-0,53	9,12	0,68	-	-0,2	-
-25	1,05	0,26	-0,06	1,53	1,45	0,75	0,55	2,35	1,67	-0,38	10,96	1,03	-	-0,1	0,06
-20	1,46	0,51	0,33	2,02	1,91	1,12	0,90	2,98	2,18	-0,27	13,04	1,44	-	0,2	0,32
-15	2,01	0,85	0,67	2,67	2,53	1,64	1,41	3,85	2,86	-0,18	15,37	1,91	-	0,4	0,62
-10	2,55	1,19	1,01	3,32	3,14	2,16	1,91	4,72	3,54	0,09	17,96	2,45	0	0,8	0,98
-5	3,27	1,64	1,47	4,18	3,94	2,87	2,6	5,85	4,42	0,33	20,85	3,06	0,22	1,1	1,4
0	3,98	2,08	1,93	5,03	4,73	3,57	3,29	6,98	5,29	0,57	24	3,75	0,47	1,6	1,88
5	4,89	2,66	2,54	6,11	5,73	4,43	4,22	8,37	6,40	0,89	27,54	4,52	0,75	2,1	2,43
10	5,80	3,23	3,14	7,18	6,73	5,28	5,15	9,76	7,51	1,21	31,37	5,38	1,08	2,6	3,07
15	6,95	3,95	3,93	8,52	7,97	6,46	6,36	11,56	8,88	1,62	35,56	6,33	1,46	3,3	3,78
20	8,10	4,67	4,72	9,86	9,20	7,63	7,57	13,35	10,25	2,02	40,11	7,39	1,9	4,0	4,59
25	9,5	5,39	5,71	11,5	10,70	9,14	9,12	15,00	11,94	2,54	45,03	8,55	2,38	4,8	5,5
30	10,90	6,45	6,70	13,14	12,19	10,65	10,67	16,65	13,63	3,05	-	9,82	2,94	5,7	6,51
35	12,60	7,53	7,93	15,13	13,98	12,45	12,61	19,78	15,69	3,69	-	11,21	3,55	6,7	7,64
40	14,30	8,60	9,16	17,11	15,77	14,25	14,55	22,90	17,74	4,32	-	12,73	4,25	7,8	8,88
45	16,3	10,25	10,67	19,51	17,89	16,48	16,94	26,2	20,25	5,09	-	14,38	5,02	9,1	10,26
50	18,30	11,90	12,18	21,90	20,01	18,70	19,33	29,50	22,75	5,86	-	16,16	5,87	10,4	11,76
55	20,75	13,08	14,00	24,76	22,51	21,45	22,24	-	25,80	6,79	-	18,08	6,81	11,9	13,41
60	23,20	14,25	15,81	27,62	25,01	24,20	25,14	-	28,85	7,72	-	20,14	7,85	13,6	15,2
70	29,00	17,85	20,16	-	30,92	-	32,12	-	-	9,91	-	24,72	10,23	17,3	19,26
80	-	22,04	25,32	-	-	-	40,40	-	-	-	-	29,94	13,07	21,5	23,99
90	-	26,88	31,43	-	-	-	50,14	-	-	-	-	35,82	16,4	-	29,43

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
----	------	----------	--------	------

00.MP.142.003.011.ПЗ

Арк.

39



### 3.7 Технічна характеристика аміаку

#### Застосування:

Марка А - для виробництва азотної кислоти і азотування; в якості холодоагенту; для створення захисних атмосфер;

Марка Ак - для поставок на експорт і для транспортування по магістральному аміакопроводу для переробки на добрива і для використання в сільському господарстві як азотне добриво;

Марка Б - для переробки на добрива і для використання в сільському господарстві як азотне добриво.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## Транспортування:

Залізничним та автомобільним транспортом у спеціальних цистернах, сталевих балонах в критих транспортних засобах. Транспортне маркування з нанесенням на балони знаків «Берегти від вологи», і «Герметична упаковка». Серійний номер ООН 1005

### 3.8. Густина, теплоємність, теплопровідність

#### Властивості аміаку NH<sub>3</sub> (газ) при атмосферному тиску

Аміак (NH<sub>3</sub>) - токсична пальне газоподібна речовина, що володіє властивістю утворювати при контакті з повітрям вибухонебезпечну суміш.

При нормальному тиску і кімнатній температурі існує у вигляді газу. Для використання у виробництві і при транспортуванні аміак (нітрид водню) зріджують.

Технічний аміак використовується як основна сировина при виробництві великої кількості речовин, що містять азот і використовуваних в різних галузях промисловості: мінеральних добрив, азотної і синильної кислот, в загальному органічному синтезі і т.д.

У таблиці представлені щільність і теплофізичні властивості аміаку в газоподібному стані в залежності від температури при тиску 760 мм.рт.ст. Властивості аміаку вказані при температурі від -23 до 627 ° С.

У таблиці дані наступні властивості аміаку:

- щільність аміаку, кг / м<sup>3</sup>;
- питома теплоємність, кДж / (кг · град);
- коефіцієнт теплопровідності, Вт / (м · град);
- динамічна в'язкість, Па · с;
- кінематична в'язкість, м<sup>2</sup> / с;
- температуропровідність, м<sup>2</sup> / с;
- число Прандтля.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

За даними таблиці видно, що властивості аміаку істотно залежать від температури. Так, з ростом температури зменшується щільність аміаку, і число Прандтля; інші характеристики цього газу збільшують свої значення.

Наприклад, при температурі 27 ° С (300 К) аміак має щільність, рівну 0,715 кг / м<sup>3</sup>, а при нагріванні до 627 ° С (900 К) щільність аміаку знижується до величини 0,233 кг / м<sup>3</sup>.

Щільність аміаку при кімнатній температурі і нормальному атмосферному тиску істотно нижче щільності повітря при цих умовах.

T, °K	$\gamma''$ , кг/м <sup>3</sup>	$c_p$ , кДж/(кг·град)	$\lambda$ , 10 <sup>-3</sup> Вт/(м·град)	$\nu$ , 10 <sup>-5</sup> м <sup>2</sup> /сек	$\nu$ , 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /сек	$a$ , 10 <sup>-5</sup> м <sup>2</sup> /сек	Pr
250	0,810	2,00	18,5	0,88	10,0	1,11	0,90
300	0,715	2,08	24,0	1,06	15,0	1,80	0,83
350	0,610	2,18	31,0	1,24	20,0	2,36	0,85
400	0,523	2,27	38,0	1,43	26,5	3,19	0,83
500	0,425	2,45	53,0	1,80	42,5	5,14	0,83
600	0,373	2,63	71,0	2,19	62,5	7,65	0,82
700	0,300	2,79	88,5	2,57	85,0	10,7	0,79
800	0,261	2,95	108,0	2,93	113,0	14,2	0,80
900	0,233	3,12	129,0	3,39	141,5	17,9	0,79

### Властивості аміаку (сухий насичений пар)

У таблиці дані теплофізичні властивості сухого насиченої пари аміаку в залежності від температури.

Властивості наведені в інтервалі температури від -70 до 70 ° С.

У таблиці вказані наступні властивості пара аміаку:

- іск насичених парів, МПа;
- щільність аміаку, кг / м<sup>3</sup>;
- теплота фазового переходу, кДж / кг;
- питома теплоємність, кДж / (кг · град);
- теплопровідність, Вт / (м · град);
- температуропровідність, м<sup>2</sup> / с;
- динамічна в'язкість, Па · с;
- кінематична в'язкість, м<sup>2</sup> / с;

- число Прандтля.

Властивості аміаку сильно залежать від температури. Має місце пряма залежність між температурою і тиском насичених парів аміаку.

Щільність насиченої пари аміаку при цьому значно збільшується. Знижуються значення температуропровідності і в'язкості. Теплопровідність насиченого пара аміаку в таблиці вказана в ступеня 104. Не забудьте розділити на 10000.

$t$ , °C	$p$ , МПа	$\rho''$ , кг/м <sup>3</sup>	$r$ , кДж/кг	$c_p$ , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^4$ , Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\mu \cdot 10^5$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	Pr
-70	0,01092	0,1108	1469,3	2,028	150	66,8	-	-	-
-60	0,02187	0,2123	1443,5	2,066	160	36,5	-	-	-
-50	0,04082	0,3804	1416,8	2,118	170	21,1	0,785	20,636	0,98
-40	0,07169	0,6439	1388,9	2,184	180	12,8	0,807	12,533	0,98
-30	0,1194	1,038	1359,6	2,267	191	8,12	0,830	7,996	0,98
-20	0,1901	1,605	1328,7	2,368	203	5,34	0,854	5,321	1,00
-10	0,2908	2,393	1296,1	2,486	217	3,65	0,880	3,677	1,01
0	0,4296	3,460	1261,5	2,624	233	2,57	0,907	2,621	1,02
10	0,6153	4,872	1224,8	2,783	250	1,84	1,936	1,921	1,04
20	0,8578	6,706	1185,8	2,966	269	1,35	0,968	1,443	1,07
30	1,1675	9,054	1144,0	3,177	291	1,01	1,000	1,104	1,09
40	1,5556	12,029	1099,1	3,424	315	0,765	1,035	0,860	1,13
50	2,0337	15,770	1050,5	3,719	343	0,585	1,072	0,680	1,16
60	2,6147	20,46	997,6	4,081	375	0,449	1,114	0,544	1,21

### Теплопровідність аміаку в рідкому і газоподібному станах

У таблиці наведені значення теплопровідності аміаку в рідкому і газоподібному станах в залежності від температури і тиску.

Теплопровідність аміаку (розмірність Вт / (м · град)) вказана в діапазоні температури від 27 до 327 ° С і тиску від 1 до 1000 атмосфер.

Теплопровідність аміаку в таблиці вказана в ступеня 103. Не забудьте розділити на 1000.

Значення теплопровідності вище риси вказані для рідкого аміаку, теплопровідність якого з ростом температури знижується.

									Арк.
									43
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.011.ПЗ				

Теплопровідність газоподібного аміаку збільшується при нагріванні. Збільшення тиску призводить до зростання значення теплопровідності, як для рідкого, так і для газоподібного аміаку.

<i>p, бар</i> → T, К	1	10	20	30	40	50	60
300	24,7	30,0	474	476	478	480	482
310	26,0	30,6	454	457	458	462	464
320	27,2	31,0	434	435	437	440	442
330	28,2	31,6	36,0	408	416	417	418
340	29,3	32,2	36,1	41,0	390	393	397
350	30,4	33,1	36,3	40,5	367	368	370
360	31,6	34,0	36,5	40,0	45,0	340	343
370	32,8	34,7	36,7	40,2	44,4	51,0	315
380	34,0	35,4	37,4	40,8	44,0	50,0	58,0
390	35,2	37,0	39,0	42,5	44,4	50,0	56,2
400	37,0	38,4	41,1	43,3	44,8	49,5	54,3
420	40,4	41,2	42,9	44,1	47,0	49,3	52,4
440	43,5	44,1	45,3	46,2	48,4	49,1	50,8
460	46,3	47,3	48,2	49,0	49,8	51,6	52,6
480	49,2	50,1	50,9	51,9	53,0	54,1	55,2
500	52,5	54,5	55,4	56,2	56,9	57,8	58,6
550	59,4	63,3	64,1	64,9	65,8	67,2	67,4
600	67,0	71,2	72,1	73,0	73,8	74,4	75,2

<i>p, бар</i> → T, К	70	80	90	100	150	200	250
300	484	485	486	488	493	500	506
310	466	466	469	470	477	484	490
320	444	445	448	450	456	463	470
330	420	423	425	427	436	444	452
340	398	400	402	404	416	423	430
350	372	375	377	381	391	402	411
360	346	348	352	354	367	379	388
370	318	321	325	328	345	357	370
380	67,4	293	297	302	320	335	348
390	63,4	76,3	262	273	296	314	327
400	61,2	70,4	83,0	110	269	292	307
420	55,9	61,2	66,9	75,1		244	265
440	53,8	57,2	61,4	65,2		183	219
460	55,3	57,4	60,5	63,0	84,5	133	173
480	56,0	58,2	60,8	62,5	76,4	97,3	127
500	59,4	60,2	61,1	63,3	73,2	94,5	123
550	68,2	67,1	68,9	69,7	71,6	85,4	105
600	75,9	76,6	77,4	78,2	79,0	79,8	82,1

$p, \text{бар}$ → T, K	300	350	400	450	500	550	600
300	513	520	527	534	540	546	553
310	496	502	509	515	521	527	533
320	477	484	491	498	505	509	514
330	459	466	473	479	484	493	498
340	438	447	454	461	468	474	480
350	419	427	435	442	449	455	461
360	398	408	418	424	431	438	445
370	380	388	398	406	414	422	427
380	359	370	380	388	395	403	410
390	340	352	362	370	377	384	391
400	321	334	344	352	360	368	374
420	282	295	308	319	328	338	345
440	240	258	273	286	298	310	320
460	199	220	238	256	273	286	296
480	162	182	204	228	252	263	273
500	156	179	203	222	240	252	263
550	128	149	166	186	204	216	228
600	91	110	134	151	168	178	187

$p, \text{бар}$ → T, °K	650	700	750	800	850	900	1000
300	557	562	567	572	576	580	587
310	538	546	551	556	558	562	573
320	521	531	534	538	543	551	558
330	505	512	515	521	527	534	543
340	486	493	499	505	512	519	527
350	468	476	480	486	493	499	512
360	451	455	464	471	478	484	493
370	435	438	447	453	458	464	478
380	417	424	433	437	443	451	462
390	400	406	414	422	426	435	445
400	384	391	398	405	412	418	433
420	354	363	369	375	384	390	403
440	329	337	345	351	358	364	375
460	304	313	322	328	335	342	354
480	282	291	299	305	313	321	333

У наступній таблиці наведено теплопровідність аміаку при низьких температурах і атмосферному тиску.

$T, ^\circ\text{K}$	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
$\lambda \cdot 10^3, \text{вт/м} \cdot \text{град}$	15,3	16,2	17,0	17,8	18,6	19,6	20,6	21,6	22,6	23,6	24,7

Теплопровідність рідкого аміаку на лінії насичення в залежності від температури приведена в таблиці нижче. Слід зазначити, що теплопровідність рідкого аміаку при нагріванні зменшується.

$T, ^\circ\text{K}$	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380
$\lambda \cdot 10^3, \text{вт/м} \cdot \text{град}$	470	457	445	435	424	413	403	391	379	369	356	345	335	325	315	305	289

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.011.ПЗ

Арк.

46

#### 4. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХЛАДОНУ

##### R404A

Врахування теплофізичних властивостей аміаку в розрахунках холодильних установок.

Розрахункова температура  $t_p = t + 100$

Наприклад, якщо  $t = -20^\circ\text{C}$ , то  $t_p = 80^\circ\text{C}$

Числові значення розрахунків наведена для  $0^\circ\text{C}$ , тобто для  $t_p = 100^\circ\text{C}$

$$1. c'_p = (0,23237 - 1,5644 \cdot 10^{-6} t_p^2)^{-1} = 4,614 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \right);$$

$$2. \lambda' = (0,42315 - 1,6625 \cdot 10^{-3} t_p)^{0,5} = 0,5069 \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \right);$$

$$3. a' \cdot 10^6 = 0,19363 - 2,1077 \cdot 10^{-6} t_p^2 = 0,1726 \left( \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right);$$

$$4. \mu' \cdot 10^5 = (61351/t_p - 292)^{0,5} = 17,93 (\text{Па}\cdot\text{с});$$

$$5. \vartheta' \cdot 10^6 = (2,9282 \cdot 10^{-2} t_p + 0,72517)^{-1} = 0,27372 \left( \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right);$$

$$6. \sigma' \cdot 10^2 = (95,403 - 42,42 \lg t_p)^{0,5} = 3,250 \left( \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right);$$

$$7. Pr' = 0,81 + 79,2 / t_p = 1,602;$$

$$8. c_p'' = \exp(0,6802 + 2,828 \cdot 10^{-5} t_p^2) = 2,620 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \right);$$

$$9. \lambda'' \cdot 10^3 = 8,7305 \cdot 10^{-4} t_p^2 + 14,713 = 23,4435 \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \right);$$

$$10. a'' \cdot 10^6 = 1,583 \cdot 10^7 t_p^{-3,409} = 2,407 \left( \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right);$$

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						47
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$11. \mu'' \cdot 10^6 = (0,14381 - 3,3616 \cdot 10^{-4} t_p)^{-1} = 9,075 (\text{Па} \cdot \text{с}) ;$$

$$12. \vartheta'' \cdot 10^6 = 6,4588 \cdot 10^6 t_p^{-3,2029} = 2,537 \left( \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right) ;$$

$$13. Pr'' = (1,0595 - 8,9232 \cdot 10^{-6} t_p^2)^{-1} = 1,0306 ;$$

Парам	$c_p'$	$\lambda'$	$a' \cdot 10^6$	$\mu' \cdot 10^5$	$\vartheta' \cdot 10^6$	$\sigma' \cdot 10^2$	$Pr'$	$c_p''$	$\lambda'' \cdot 10^3$	$a'' \cdot 10^6$	$\mu'' \cdot 10^6$	$\vartheta'' \cdot 10^6$	$Pr''$
Розр. знач.	4,614	0,5069	0,1726	17,93	0,27372	3,250	1,602	2,620	23,4435	2,407	9,075	2,537	1,0306
Таб. знач.	4,599	0,506	0,172	17,5	0,274	3,23	1,59	2,624	23,50	2,57	9,11	2,621	1,02

### Теплофізичні властивості насиченої рідини Аміаку (R717)

$t_n, ^\circ\text{C}$	$C_p', \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	$\lambda', \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	$a' \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu' \cdot 10^5, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu' \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\sigma' \cdot 10^2, \text{Н/м}$	$Pr'$
-60	4,378	0,600	0,192	—	—	5,14	—
-50	4,404	0,585	0,189	31,5	0,449	4,81	2,37
-40	4,434	0,570	0,186	27,6	0,400	4,48	2,15
-30	4,468	0,554	0,183	24,3	0,358	4,16	1,96
-20	4,506	0,538	0,180	21,6	0,325	3,84	1,81
-10	4,549	0,522	0,176	19,4	0,298	3,53	1,69
0	4,599	0,506	0,172	17,5	0,274	3,23	1,59
10	4,659	0,490	0,168	15,9	0,255	2,93	1,51
20	4,731	0,472	0,164	14,5	0,238	2,64	1,45
30	4,821	0,455	0,159	13,2	0,223	2,34	1,40
40	4,931	0,436	0,153	12,1	0,209	2,06	1,37
50	5,070	0,417	0,146	11,0	0,195	1,77	1,34
60	5,246	0,398	0,139	10,0	0,183	1,49	1,32
70	5,475	0,377	0,131	9,13	0,173	1,22	1,32
80	5,788	0,355	0,121	8,23	0,163	—	1,37
90	6,242	0,338	0,112	7,34	0,152	—	1,36
100	6,971	0,310	0,097	6,45	0,142	—	1,46
110	8,352	0,286	0,080	5,58	0,131	—	1,64
120	11,96	0,259	0,056	4,68	0,121	—	2,16

## Теплофізичні властивості сухого насиченого пару Аміаку (R717)

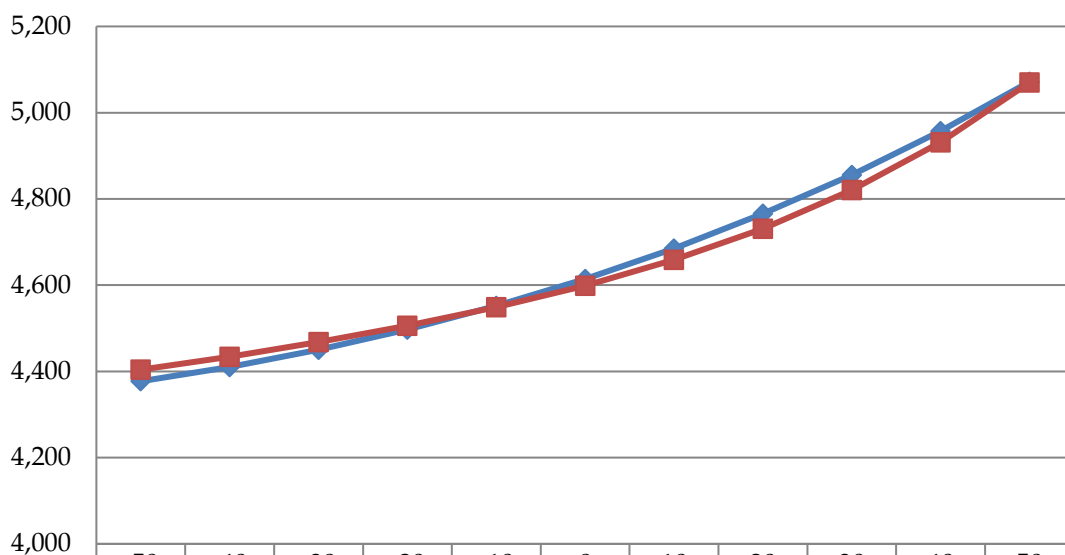
Теплофизические свойства сухого насыщенного пара аммиака (R717)

$t_n, ^\circ\text{C}$	$C_p'',$ кДж/(кг·К)	$\lambda'' \cdot 10^3$ Вт/(м·К)	$a'' \cdot 10^6,$ м <sup>2</sup> /с	$\mu'' \cdot 10^6,$ Па·с	$\nu'' \cdot 10^6,$ м <sup>2</sup> /с	$Pr''$
-60	2,066	16,00	36,5	—	—	—
-50	2,118	17,00	21,1	7,85	20,636	0,98
-40	2,184	18,00	12,8	8,07	12,533	0,98
-30	2,267	19,18	8,12	8,27	7,996	0,98
-20	2,368	20,44	5,34	8,55	5,321	1,00
-10	2,486	21,90	3,65	8,83	3,677	1,01
0	2,624	23,50	2,57	9,11	2,621	1,02
10	2,783	25,27	1,84	9,40	1,921	1,04
20	2,966	27,08	1,35	9,69	1,443	1,07
30	3,177	29,16	1,01	9,99	1,104	1,09
40	3,424	31,68	0,765	10,3	0,860	1,13
50	3,719	34,54	0,585	10,7	0,680	1,16
60	4,081	37,67	0,449	11,1	0,544	1,21
70	4,545	41,26	0,343	11,6	0,440	1,28
80	5,169	45,55	0,261	12,1	0,358	1,37
90	5,069	51,05	0,232	12,7	0,293	1,26
100	7,495	58,31	0,139	13,5	0,241	1,73
110	10,13	69,56	0,094	14,6	0,199	2,12
120	16,77	88,39	0,052	16,6	0,166	3,19

Тепер нарисуємо графіки по розрахункам для кожного параметру та виявими при якій температурі буде найбільша похибка.

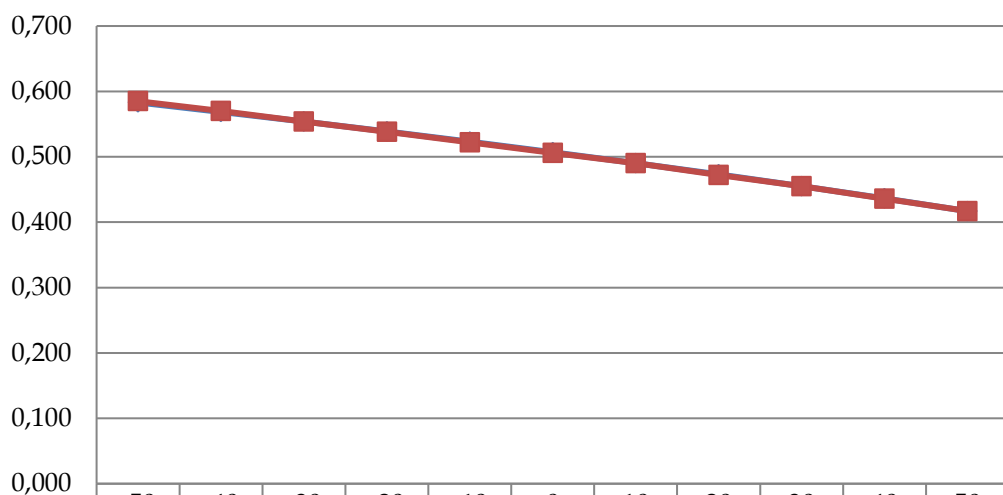
## Графіки по розрахункам аміаку в стані сухої насиченої пари

### Питома масова ізобарна теплоємність



Розрахункові	4,377	4,410	4,450	4,497	4,552	4,614	4,685	4,765	4,856	4,958	5,072
Табличні	4,404	4,434	4,468	4,506	4,549	4,599	4,659	4,731	4,821	4,931	5,070

### Коефіцієнт теплопровідності



Розрахункові	0,583	0,569	0,554	0,539	0,523	0,507	0,490	0,473	0,455	0,436	0,417
Табличні	0,585	0,570	0,554	0,538	0,522	0,506	0,490	0,472	0,455	0,436	0,417

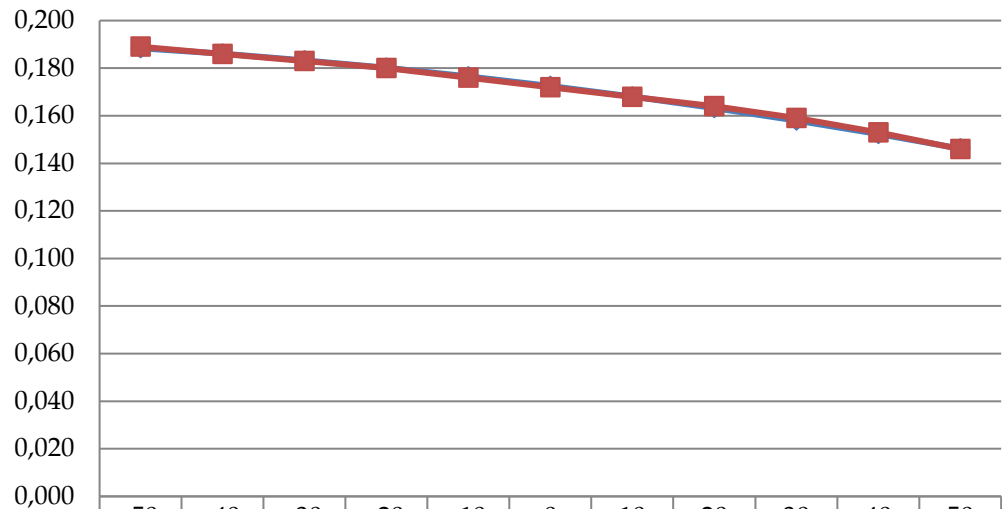
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.011.ПЗ

Арк.

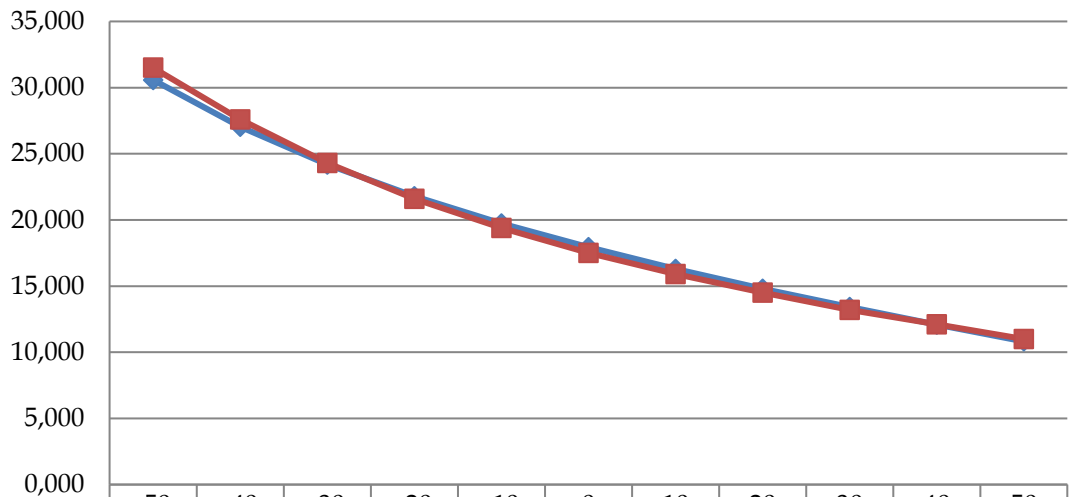
50

## Коефіцієнт температуропровідності



	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
Розрахункові	0,188	0,186	0,183	0,180	0,177	0,173	0,168	0,163	0,158	0,152	0,146
Табличні	0,189	0,186	0,183	0,180	0,176	0,172	0,168	0,164	0,159	0,153	0,146

## Динамічна в'язкість



	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
Розрахункові	30,578	27,028	24,175	21,792	19,740	17,931	16,301	14,807	13,414	12,092	10,817
Табличні	31,500	27,600	24,300	21,600	19,400	17,500	15,900	14,500	13,200	12,100	11,000

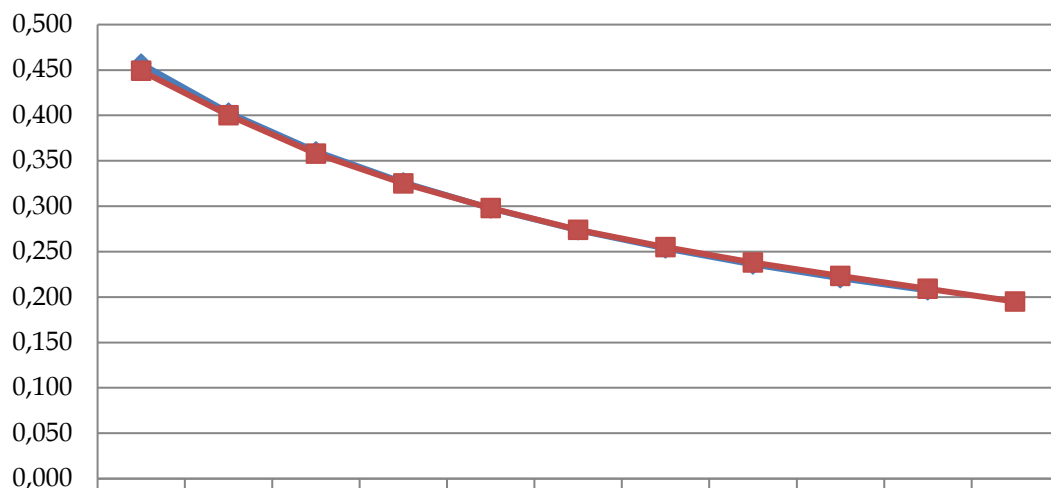
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.011.ПЗ

Арк.

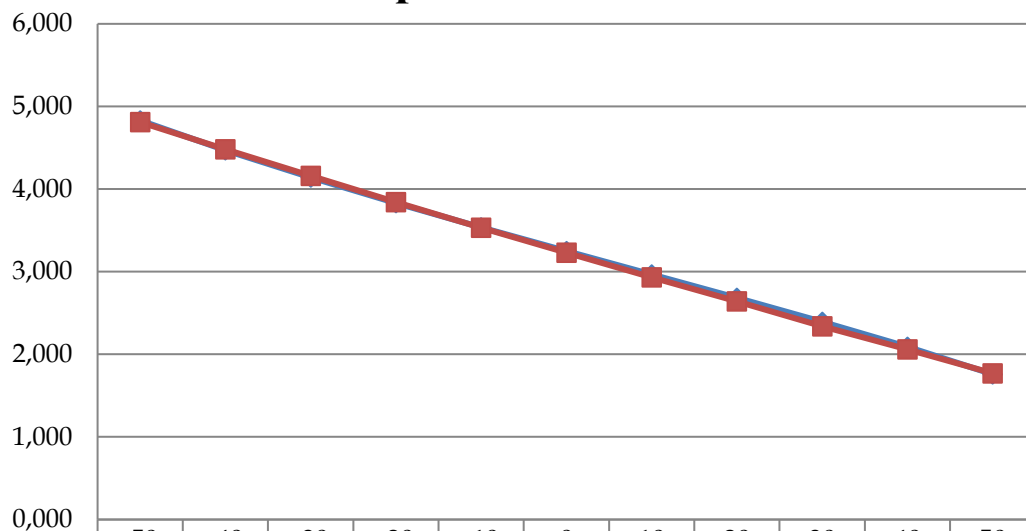
51

## Кінематична в'язкість



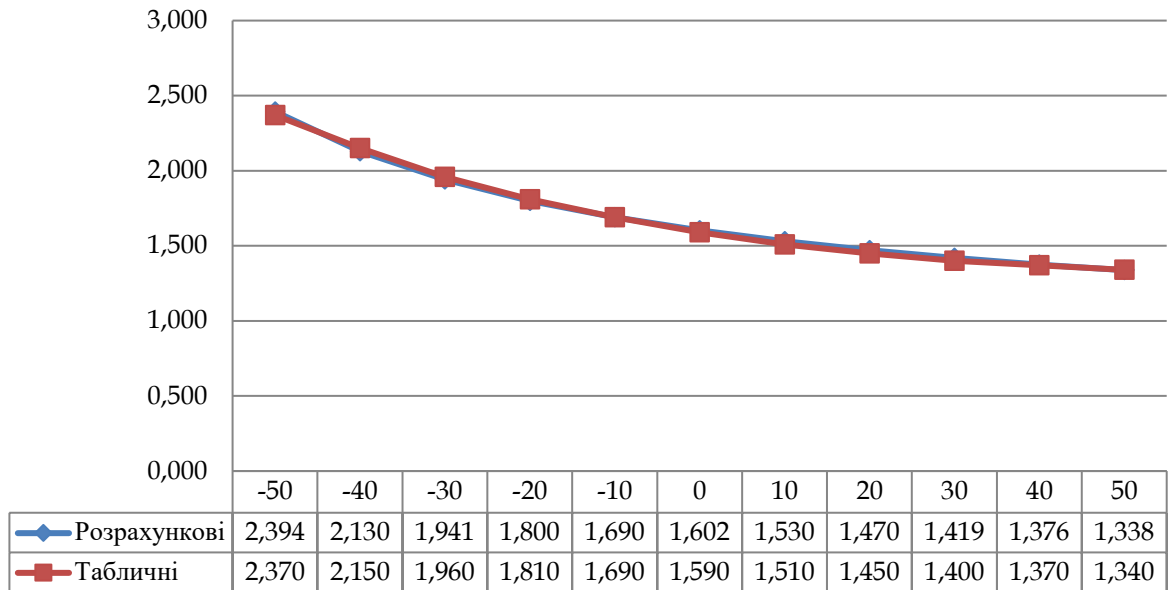
	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
Розрахункові	0,457	0,403	0,360	0,326	0,298	0,274	0,253	0,236	0,221	0,207	
Табличні	0,449	0,400	0,358	0,325	0,298	0,274	0,255	0,238	0,223	0,209	0,195

## Поверхневий натяг



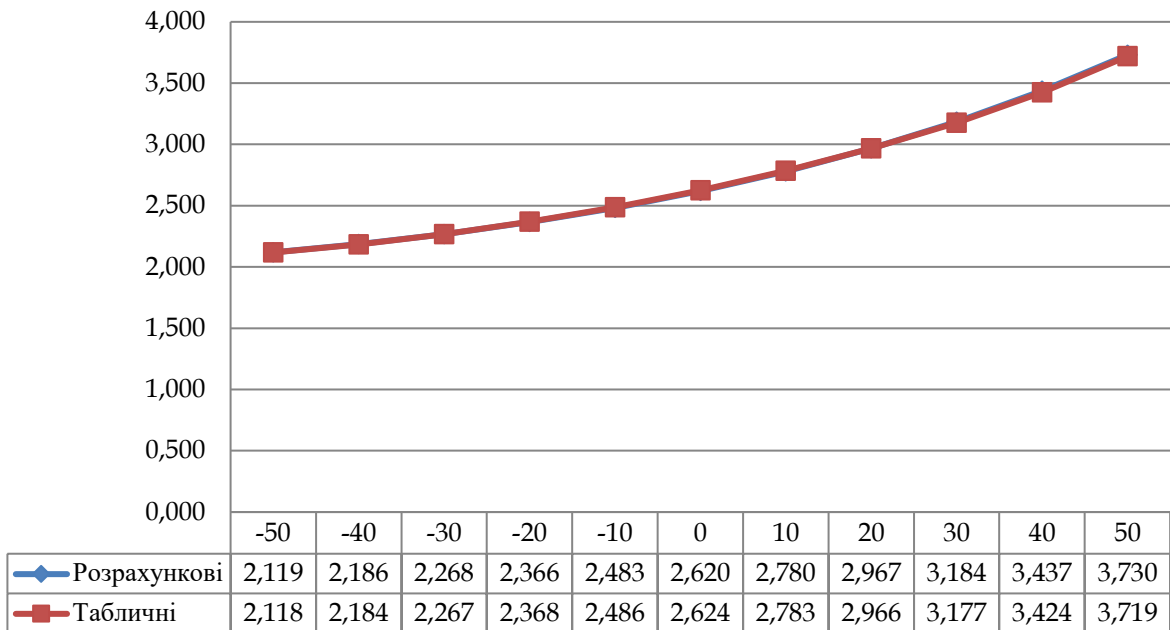
	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
Розрахункові	4,830	4,469	4,139	3,831	3,536	3,250	2,968	2,684	2,394	2,089	1,759
Табличні	4,810	4,480	4,160	3,840	3,530	3,230	2,930	2,640	2,340	2,060	1,770

## Критерій Прандтля

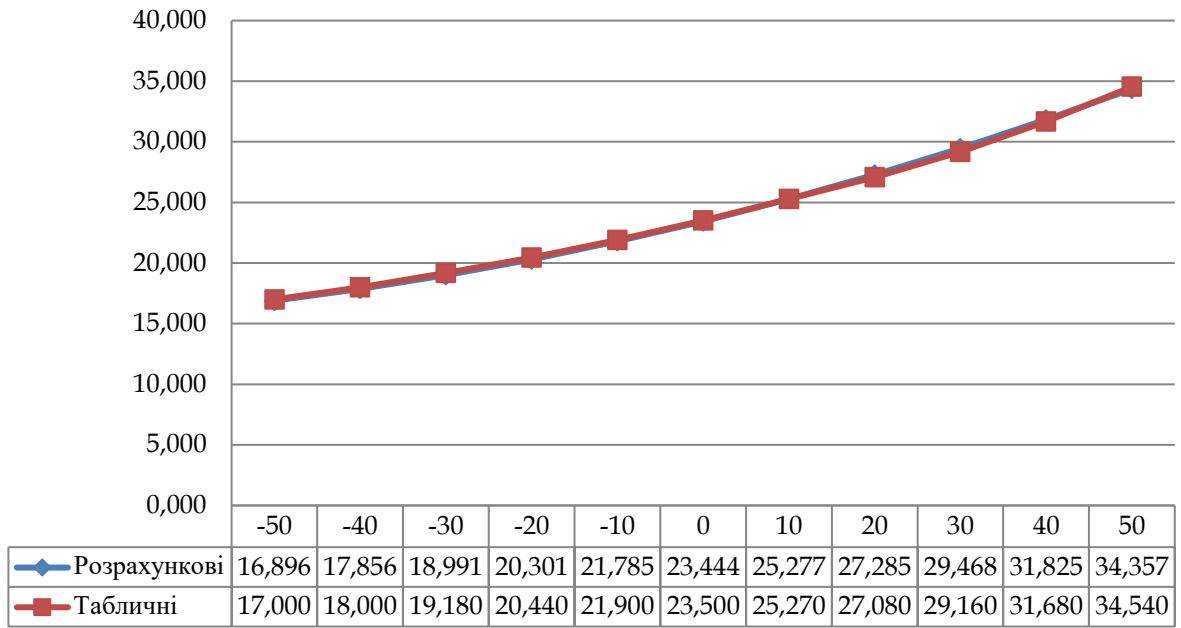


## Графіки по розрахункам теплофізичних властивостей аміаку в стані насиченої рідини

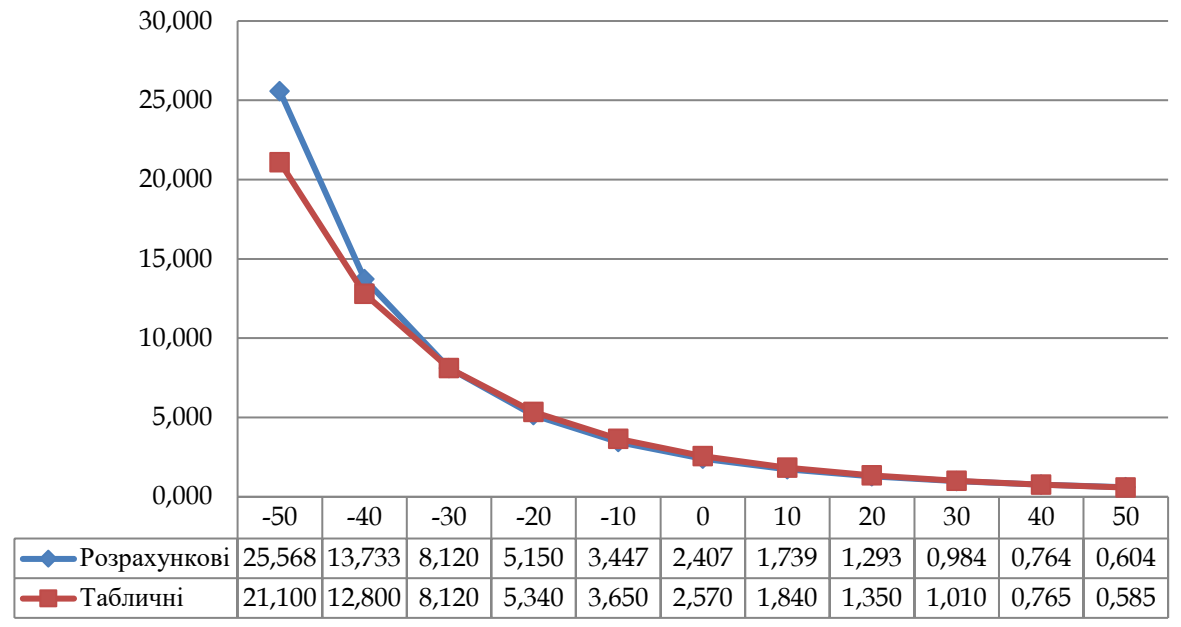
### Питома масова ізобарна теплоємність



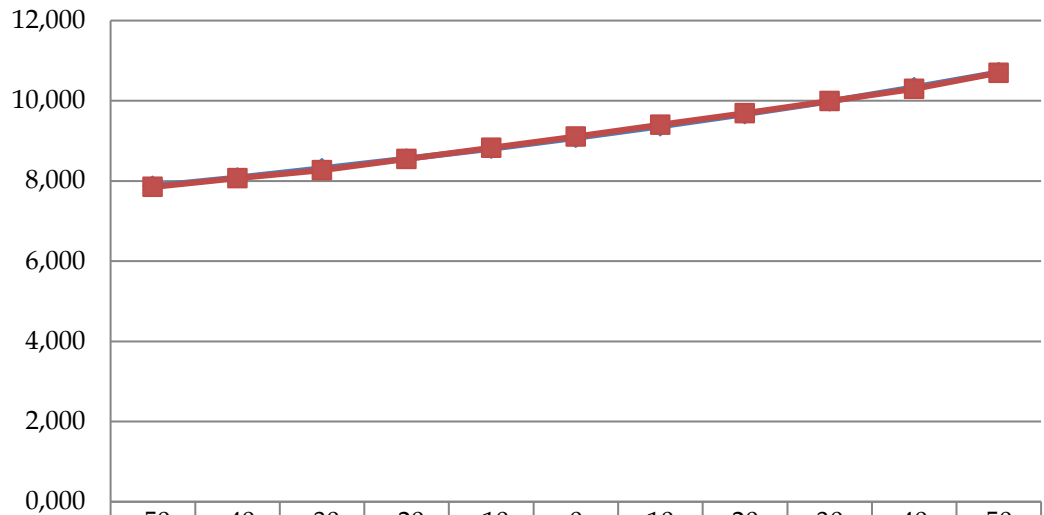
## Коефіцієнт теплопровідності



## Коефіцієнт температуропровідності

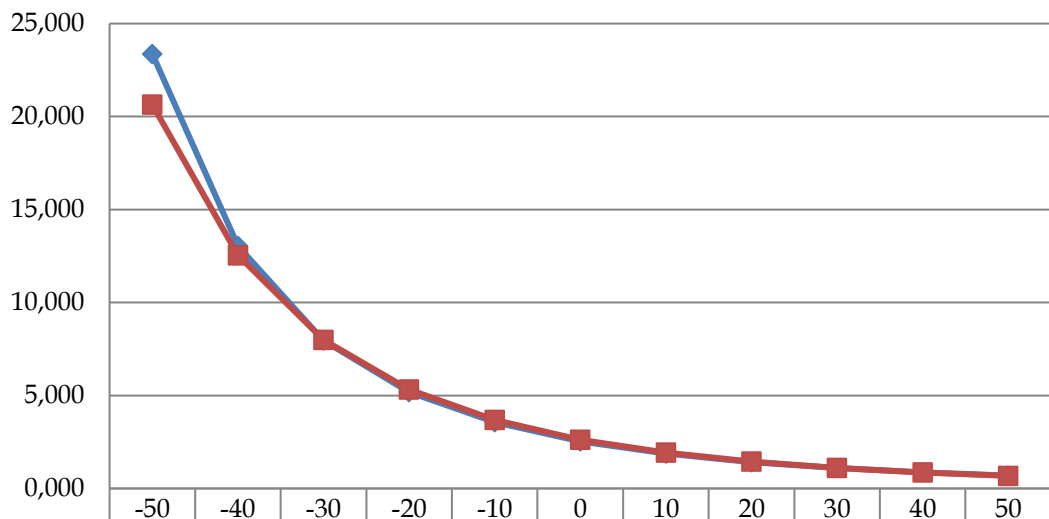


## Динамічна в'язкість



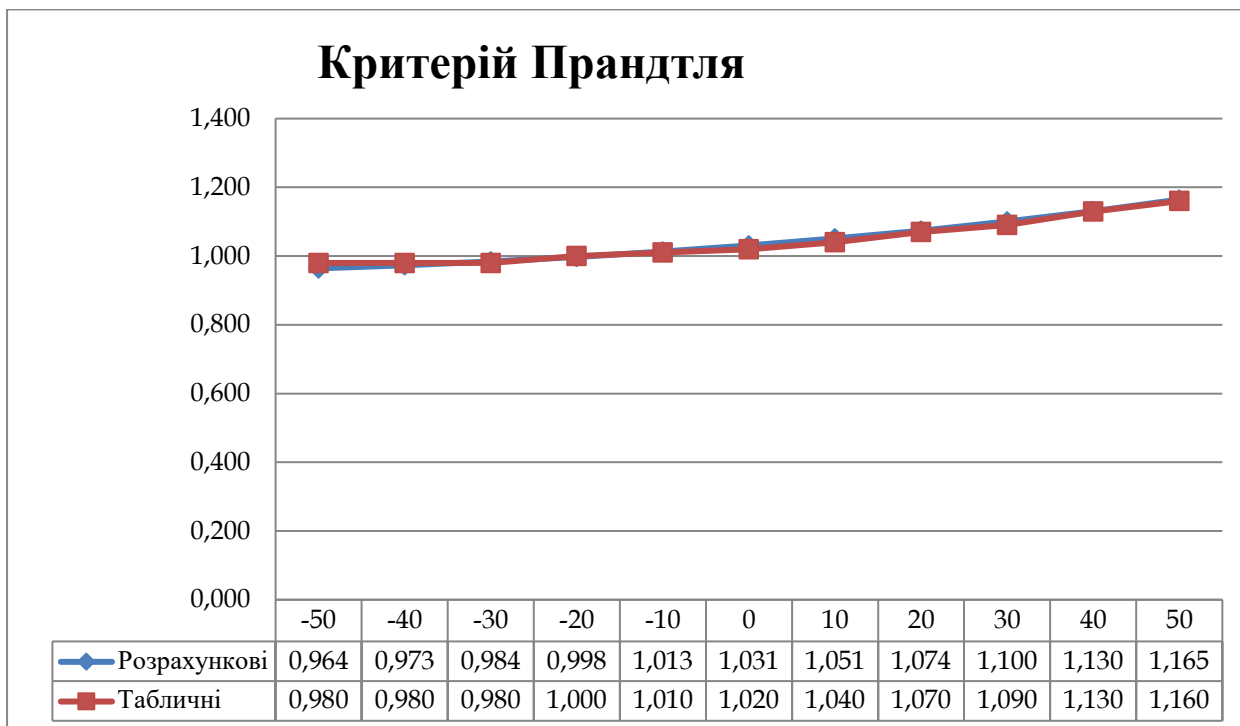
	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
—◆— Розрахункові	7,874	8,088	8,314	8,553	8,806	9,075	9,360	9,665	9,989	10,336	10,708
—■— Табличні	7,850	8,070	8,270	8,550	8,830	9,110	9,400	9,690	9,990	10,300	10,700

## Кінематична в'язкість



	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
—◆— Розрахункові	23,363	13,029	7,952	5,185	3,556	2,537	1,870	1,415	1,095	0,864	0,692
—■— Табличні	20,636	12,533	7,996	5,321	3,677	2,621	1,921	1,443	1,104	0,860	0,680

## Критерій Прандтля



°C	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
$c_p'$	0,006096	0,0053285	0,003963665	0,0019407	0,0005925	0,0032879	0,0056108	0,0072872	0,0072558	0,0054081	0,0003431
$\lambda'$	0,0032194	0,0023111	0,000229731	0,0012188	0,0019084	0,0016858	0,0003644	0,0019417	0	0,0007993	0,0003278
$a' \cdot 10^6$	0,0033823	0,0002273	0,001651749	0,0007818	0,0031684	0,0032151	0,0007549	0,0043956	0,0062272	0,0044505	0,0014161
$\mu' \cdot 10^5$	0,0292668	0,020722	0,005133622	0,0088849	0,0175391	0,0246114	0,0252467	0,0211982	0,0161991	0,0006442	0,0166398
$\vartheta' \cdot 10^6$	0,0173124	0,0072157	0,006625833	0,0029967	0,0014418	0,0010223	0,0062393	0,0088061	0,0104869	0,0082827	0,0020977
$\sigma' \cdot 10^2$	0,0042396	0,0024088	0,004971994	0,0024334	0,0017292	0,0062158	0,0128599	0,0166861	0,022924	0,0141157	0,0063548
$Pr'$	0,0101266	0,0093023	0,009475219	0,0055249	0	0,0075472	0,013245	0,0137931	0,0137363	0,004171	0,0014925
$c_p''$	0,0004278	0,0008503	0,000314678	0,0008534	0,001406	0,0016984	0,0011408	0,0002178	0,0021971	0,0036853	0,0030498
$\lambda'' \cdot 10^3$	0,0061397	0,0080011	0,009856882	0,0068239	0,0052646	0,0024043	0,0002732	0,0075672	0,0105468	0,0045701	0,0053091
$a'' \cdot 10^6$	0,2117408	0,0728854	3,30019E-05	0,0354919	0,0555579	0,0634137	0,054731	0,0423247	0,0256238	0,0007619	0,0328326
$\mu'' \cdot 10^6$	0,0030435	0,0022269	0,005322503	0,0003581	0,0026887	0,0038524	0,0042068	0,0026251	9,09E-05	0,003512	0,0007704
$\vartheta'' \cdot 10^6$	0,1321274	0,0395758	0,00547767	0,0255677	0,0330258	0,0319789	0,0266975	0,0194361	0,0081783	0,0041993	0,0182167
$Pr''$	0,016182	0,0067826	0,004559905	0,0023858	0,0029142	0,0104344	0,010519	0,0038383	0,0096108	0,0003962	0,0038906

**Похибку розраховували за формулою:**

$$\left( \frac{\text{Розр. знач.} - \text{табл. знач.}}{\text{табл. знач.}} \right) \cdot 100\%$$

Дивлячись в таблицю робимо висновок, що гранична відносна похибка теплофізичних властивостей аміаку буде 0,2% при температурі –50°C .

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Загальні правила техніки безпеки

Холодильні установки призначені для підтримання певної температури в холодильних камерах. У зв'язку з наявністю в холодильних установках холодоагентів – аміаку або хладонів, які знаходяться під великим тиском і мають небезпечні властивості, експлуатація їх вимагає суворого дотримання техніки безпеки і технічних умов.

У разі розгерметизації холодильної установки у навколишній простір може виділитися одночасно велика маса холодоагенту й мастила, які становлять реальну небезпеку для людей та навколишнього природного середовища.

Конструкція апаратів (посудин) кожної холодильної установки експлуатація і технічний огляд підприємством-власником (обслуговуючою організацією) повинні відповідати вимогам «Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском».

Адміністрація підприємства зобов'язана забезпечити холодильні установки необхідним штатом обслуговуючого персоналу або укласти договір зі спеціалізованою організацією на комплексне технічне обслуговування автоматизованих холодильних установок.

До обслуговування холодильних установок допускаються особи, не молодші 18 років, що пройшли медичний огляд і мають свідоцтво про закінчення спеціального учбового закладу або курсів:

- з експлуатації холодильних установок – для машиністів,
- з автоматизації холодильних установок – для слюсарів,
- з експлуатації і автоматизації холодильних установок – для електромеханіків.

Машиніст і електромеханік допускаються до самостійного обслуговування холодильних установок тільки після проходження стажування упродовж одного місяця і відповідної перевірки знань. Допуск їх до стажування і самостійної роботи здійснюється розпорядженням по підприємству.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						57
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Не рідше одного разу на рік комісія підприємства перевіряє знання обслуговуючим персоналом правил технічного обслуговування холодильної установки, техніки безпеки, інструкцій з експлуатації устаткування і охорони праці, а також наявність навиків надання долікарської допомоги в разі нещасних випадків. Результати такої перевірки реєструються в журналі і в посвідченнях обслуговуючого персоналу.

Персонал, що працює у виробничих приміщеннях, у яких встановлено технологічне устаткування з безпосереднім кипінням аміаку, повинен проходити інструктаж з охорони праці, пов'язаної із застосуванням аміачної системи безпосереднього охолодження.

На кожному підприємстві або в об'єднанні підприємств, де користуються холодильними установками, наказом призначаються з числа інженерно-технічних працівників відповідальні особи за справний стан, правильну і безпечну роботу апаратів (посудин), трубопроводів і пристроїв холодильної установки і для нагляду за технічним станом і безпечною експлуатацією холодильної установки.

Перевірка знань з питань охорони праці у керівних та інженерно-технічних працівників, пов'язаних з експлуатацією холодильних установок, проводиться перед призначенням їх на посаду і періодично не рідше як один раз на три роки.

На кожному підприємстві для обслуговуючого персоналу мають бути розроблені інструкції з експлуатації устаткування, що входить до складу холодильної установки, а також інструкції з охорони праці під час експлуатації цього обладнання, апаратів і пристроїв.

Апарати (посудини) холодильних установок підлягають технічному огляду до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації і, за необхідності, достроково. Технічний огляд апарата (посудини) полягає в попередньому зовнішньому і внутрішньому (у доступних місцях) огляді його, а також випробуванні тиском на міцність і щільність. Випробування апаратів (посудин) може бути гідравлічним або пневматичним.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

**Гідравлічне** випробування апаратів хладонових установок проводиться тиском мастила. Заборонено використовувати для цього воду.

**Пневматичне** випробування апаратів аміачних холодильних установок проводиться тиском повітря, яке створюється спеціальним компресором, а апаратів хладонових холодильних установок – тиском інертного газу (азоту, діоксиду вуглецю) або повітря з точкою роси не більше  $-40^{\circ}\text{C}$ .

У деяких випадках під час технічного огляду апарата до пуску в роботу дозволяється не проводити випробування його надмірним тиском. У холодильних агрегатах, що поставляються на місце монтажу повністю заповненими хладоном і мастилом, апарати тільки оглядаються зовні і перевіряються на наявність в них холодоагенту. Випробовують їх на щільність разом з системою змонтованих трубопроводів. Якщо монтаж апарата (посудини) проводився із застосуванням зварювання або паяння елементів, що працюють під тиском, то випробування його до пуску в роботу обов'язкове.

У процесі експлуатації холодильних установок здійснюється періодичний огляд апаратів (посудин) в робочому стані та перевіряється відповідність їх інструкції з експлуатації, а також технічний огляд. Під час технічного огляду апаратів (посудин) їх піддають зовнішньому і (у доступних місцях) внутрішньому огляду не рідше одного разу на два роки і випробуванню надмірним тиском не рідше одного разу на вісім років.

У аміачних холодильних установках апарати, не доступні для внутрішнього огляду, піддають пневматичним випробуванням на міцність і щільність не рідше одного разу на два роки.

Достроковий технічний огляд апаратів (посудин) холодильних установок проводиться після реконструкції і ремонту з застосуванням зварювання і паяння частин, що працюють під тиском, а також у випадку бездіяльності їх в незаконсервованому вигляді більше одного року, демонтажу і установки на новому місці.

Результати технічного огляду апарата (посудини), дозвіл на пуск його в роботу з вказівкою терміну наступного огляду і випробування записуються в

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

книгу обліку і огляду посудин, а також у паспорт апарата особою, що проводила це технічне обстеження.

Трубопроводи і теплообмінна апаратура з труб піддаються випробуванням на міцність і щільність.

Інженерно-технічний працівник, відповідальний за справний стан, правильну і безпечну дію апаратів (посудин), трубопроводів і пристроїв холодильної установки, зобов'язаний забезпечувати утримання апаратів (посудин) в справному стані, підготовку їх до технічного огляду, а також обслуговування навченим і атестованим персоналом.

Інженерно-технічний працівник, що здійснює нагляд за технічним станом і безпечною експлуатацією холодильної установки, зобов'язаний оглядати посудини в робочому стані і перевіряти дотримання встановлених режимів експлуатації, а також проводити їх технічний огляд.

Персонал, який обслуговує холодильну установку, повинен строго виконувати вимоги інструкцій щодо режиму роботи і безпечного обслуговування апаратів (посудин). Під час роботи холодильної установки контролюють її герметичність, стан запобіжних клапанів, покази контрольно-вимірювальних приладів.

Під час експлуатації холодильних установок необхідно оформляти такі документи:

- журнал машинного відділення;
- журнал перевірок запобіжних клапанів і контрольно-вимірювальних приладів;
- журнал обліку ремонту і обслуговування устаткування;
- журнал технічного огляду апаратів (посудин), що працюють під тиском.

Під час експлуатації холодильних установок слід керуватися «Правилами будови і безпечної експлуатації аміачних холодильних установок» або «Правилами будови і безпечної експлуатації фреонових холодильних установок».

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Адміністрація підприємства зобов'язана утримувати холодильні установки відповідно до вказаних правил і забезпечувати безпеку їх обслуговування.

Роботи з технічного обслуговування холодильних установок, регулювання і усунення несправностей повинні проводитися з дотриманням вимог вказаних правил, керівництва з експлуатації (КЕ) холодильного устаткування, розроблених заводом-виробником а також «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» і «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

Технічне обслуговування і ремонт аміачних холодильних установок і неагрегатних хладонових установок здійснюється штатним обслуговуючим персоналом, а агрегатних холодильних установок заводського постачання, що працюють в автоматичному режимі – обслуговуючим персоналом спеціалізованої організації.

## **5. 2. Правила роботи з аміачними ХУ**

Як холодоагент в аміачних холодильних установках використовується аміак, що має низку небезпечних і шкідливих властивостей.

Наявність аміаку відчувається за запахом із вмістом його в повітрі 0,35 мг/м<sup>3</sup>. Гранично допустима концентрація аміаку у повітрі – 20 мг/м<sup>3</sup>.

У зв'язку з токсичністю і вибухонебезпечністю аміаку холодильні установки з цим холодоагентом відносять до устаткування підвищеної безпеки.

Як холодильні агенти використовуються хладони, наприклад, R22 і R134a. Хладон R134a, на відміну від R22, не є пожежонебезпечним і у разі витоку руйнівню не діє на озоновий шар стратосфери. Гранично допустима концентрація пари R22 і R134a в повітрі виробничих приміщень – 3000 мг/м<sup>3</sup>.

Хладони у разі великих концентрацій в атмосферному повітрі викликають у людей задуху через нестачу кисню. Під дією відкритого полум'я і в контакті з гарячими поверхнями вони розкладаються з утворенням високотоксичних продуктів.

					00.МР.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Для запобігання аваріям в аміачних і хладонових холодильних установках використовуються арматура, запобіжні клапани, контрольно-вимірвальні прилади і засоби автоматичного захисту.

У холодильних установках запірні вентиля на трубопроводах і апаратах неагрегатних машин, окрім основних запірних вентилів компресорів, повинні бути запломбовані у відкритому положенні. У місцях, де арматура і трубопроводи можуть бути пошкоджені транспортними засобами або вантажами, встановлюються металеві захисні огорожі. У кожухотрубних апаратах і ресиверах є оглядові віконця для візуального контролю рівня рідини.

У холодильних установках для спостереження за робочим тиском нагнітання, всмоктування, в системі мастила і в картері використовуються манометри і моновакууметри.

На нагнітальних магістралях встановлюють зворотні клапани для запобігання зворотному рухові хладагенту в разі зупинки компресорів.

Компресори холодильних установок мають пружинний запобіжний клапан, що сполучає порожнини нагнітання і всмоктування з перевищенням допустимої різниці тиску. Посудини, апарати і технологічне устаткування з безпосереднім охолодженням, що містить рідкий холодильний агент, а також деякі компресори забезпечені пружинними клапанами, що скидають його пару в атмосферу. У аміачних холодильних установках запобіжні клапани повинні бути відрегульовані на початок відкриття: 1,2 МПа – на стороні всмоктування і 1,8 МПа – на стороні нагнітання.

Замість пружинного запобіжного клапана компресор може мати чавунну запобіжну пластинку, що розривається за різниці тиску не більше 1,6 МПа. Випуск пари аміаку в атмосферу через запобіжні клапани повинен проводитися по трубі, що виводиться на 1 м вище «конька» даху найвищої будівлі в радіусі 50 м, але не менше 6 м від рівня території і не менше 3 м від майданчиків обслуговування в радіусі 15 м. Діаметр відповідної труби повинен бути не меншим за діаметр запобіжного клапана.

					00.МР.142.003.011.ПЗ	Арк.
						62
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Випуск пари хладона в атмосферу здійснюється по трубі, гирло якої має бути віднесене не менше, ніж на 2 м від вікон, дверей і повітроприймальних отворів систем вентиляції і кондиціонування повітря і розташоване на рівні 5 м від землі.

Запобіжні клапани компресорів перевіряють не рідше одного разу на рік, запобіжні клапани на апаратах (посудинах) – не рідше одного разу на шість місяців. Циліндри компресорів аміачних холодильних установок мають кришку безпеки. На нагнітаючому і всмоктуючому трубопроводах кожного компресора встановлені гільзи для термометрів, захист яких від механічних пошкоджень забезпечується за допомогою спеціальних кожухів. Холодильні установки оснащені приладами автоматичного захисту, що зупиняють компресори у разі небезпечних режимів роботи.

Захист від підвищеного тиску нагнітання під час пуску компресора з закритим запірним вентилем, за неприпустимо високого тиску конденсації забезпечується за допомогою реле високого тиску (РТ). Автоматичний контроль рівня холодоагенту в апаратах здійснюється за допомогою реле рівня (РР). Для захисту від припинення подачі води в охолоджуючу сорочку компресора, а в установках з кожухотрубними випаровувачами – від припинення руху розсолу, використовується реле потоку (РП). Захист від підвищеної температури нагнітання досягається відключенням компресора за допомогою реле температури (РТ). Для контролю тиску в системі мастила застосовують реле контролю мастила РКМ (реле різниці тиску мастила). За неприпустимо низького тиску мастила реле відключає компресор.

Спрацьовування приладів захисту дублюється звуковим сигналом в машинному (апаратному) відділенні.

У аміачних холодильних установках справність захисних реле рівня перевіряється один раз на 10 днів, справність інших приладів захисної автоматики – один раз на місяць. У хладонових холодильних установках з періодичним обслуговуванням прилади автоматичного захисту перевіряють не рідше одного разу на три місяці, в інших – не рідше одного разу на місяць.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
						63
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У агрегованих хладонових холодильних установках передбачено тепловий захист обмотки статора електродвигуна, вбудованого в компресор.

За нецілодобового обслуговування автоматизованих аміачних холодильних установок у приміщеннях машинних (апаратних) і конденсаторних відділень обов'язкова установка індикаторів витоку аміаку і сигналізаторів аварійної концентрації його в повітрі. Індикатори дають попереджувальний сигнал в приміщення, в якому постійно чергує персонал, і включають вентиляцію за концентрації аміаку в повітрі понад  $500 \text{ мг/м}^3$  (0,07 %).

Якщо вміст аміаку в повітрі досягає  $1500 \text{ мг/м}^3$  (0,21 %) – сигналізатори аварійної концентрації вимикають електроживлення холодильної установки і одночасно включають витяжну й аварійну вентиляцію, світлозвукову сигналізацію і сирену, а також застережне табло над входом в машинне (апаратне) відділення, яке сповіщає про загазованість приміщення.

За цілодобового обслуговування холодильної установки індикатори витоку і сигналізатори аварійної концентрації пари аміаку можна не встановлювати в приміщеннях.

Витоки аміаку, наявність його в розсолі або циркуляційній воді визначають за допомогою індикаторного паперу (фільтрувальним папером, обробленим розчином фенолроту і висушеного на повітрі). Для виявлення аміаку в повітрі можуть бути використані газоаналізатори інфрачервоного поглинання типу ГП, в розсолі та циркуляційній воді – реактив Несслера.

Місця витоку хладона в холодильних установках визначають шляхом обмилювання з'єднань, а також за допомогою електронного витокошукача L-780A або регульованого електронного витокошукача 790A, що мають чутливість 3 г/рік.

Розроблений і використовується метод виявлення мікровитоків холодоагентів і мастил (чутливість 7 г/рік) за яскравим свіченням під дією випромінювання ультрафіолетової лампи, доданих до них флуоресцентних компонентів.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Обслуговуючий персонал аміачних холодильних установок забезпечують засобами індивідуального захисту (фільтруючі протигази типу КД, ізолюючі дихальні апарати стислого повітря типу АСВ або ізолюючі протигази типу ІІ, гумові рукавички і чоботи, захисні окуляри) та медикаментами для надання першої долікарської допомоги. На кожному підприємстві повинно бути не менше трьох костюмів Л-1 або захисних костюмів КІХ-4 для проведення аварійних робіт в загазованих аміаком приміщеннях.

Протигази марки КД і апарати типу АСВ зберігають в шафах зовні машинного (апаратного) відділення, поряд з вхідними дверима, протигази КД – в машинному (апаратному) відділенні, біля входу, а також в коридорі (вестибюлі), прилеглому до холодильних камер з безпосереднім охолодженням, і у виробничих цехах, де встановлено технологічне устаткування з безпосереднім охолодженням.

У приміщенні, де знаходиться хладонова холодильна установка, необхідно мати фільтруючі протигази, не менше двох пар гумових рукавичок, захисні окуляри і рукавиці, а також аптечку. На випадок аварійного витоку хладона з системи в машинне відділення зберігають у шафі не менше двох ізолюючих дихальних апаратів типу АСВ або ізолюючих протигазів типу ІІ.

Машинні (апаратні) і конденсаторні відділення аміачних холодильних установок є вибухонебезпечними зонами класу В-1б, що зумовлює особливі вимоги до обладнання приміщень, вибору і розміщення в них електроустановок.

Над машинними (апаратними), конденсаторними відділеннями і холодильними камерами аміачних установок, які обладнані приладами безпосереднього охолодження, а також у прямому сусідстві з ними можна розташовувати тільки приміщення, основним технологічним процесом в яких є обробка продуктів, сировини штучним холодом, де весь персонал проінструктований щодо техніки безпеки на холодильних установках.

Над машинними і апаратними відділеннями не дозволяється розташовувати приміщення з постійними робочими місцями, а також побутові

					00.МР.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

адміністративні приміщення. Не допускається влаштовувати під ними підвальні приміщення.

Огороджувальні конструкції машинного (апаратного) та конденсаторного відділень мають елементи (вікна, двері та ін.), які легко скидаються, загальною площею, не меншою 0,05 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> об'єму будівлі. При цьому віконні рами засклені звичайним склом.

Машинне відділення влаштовують з двома виходами, один з яких – безпосередньо назовні. При цьому загальна довжина шляху до виходу не повинна перевищувати 30 м. У машинному відділенні площею до 40 м<sup>2</sup> допускається облаштування одного виходу за умови розміщення холодильної установки біля стіни, протилежної до виходу.

Апаратне відділення за наявності виходу в машинне відділення повинно мати запасний вихід назовні. Облаштування виходів безпосередньо у виробничі приміщення або в прилеглі до них коридори і сходові клітки забороняється. Двері машинного і апаратного відділень мають відкриватися назовні.

Висота машинних відділень аміачних холодильних установок для холодильників, що будуються, має бути не меншою 4,8 м (для тих, що реконструюються – не меншою 3,6 м), висота апаратних відділень – не меншою 3,6 м ( для тих, що реконструюються – не менша 3,0 м ) від підлоги до низу несучих конструкцій перекриття. Висота підвіконь від підлоги не більша 1,2 м.

У машинних і апаратних відділеннях ширина проходів за висоти їх не менше 1,9 м має бути: основного – не менше 1,5 м, між виступаючими частинами компресорів – не менше 1,0 м, між гладкою стіною і компресором (чи апаратом) – не менше 0,8 м.

У холодильних установках типу «контейнер» висота машинного відділення від підлоги до перекриття (покриття) має бути не меншою 3,2 м, від підлоги до низу виступаючих частин комунікацій та устаткування приймається не менше 0,8 м, а проходи між гладкою стіною і компресором (чи апаратом) – не вузчі 0,6 м. Довжина шляху до виходу має не перевищувати 5 м.

					00.МР.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Для усунення небезпеки загорання чи вибуху аміачно-повітряного середовища (суміші) встановлюють в машинному, апаратному і конденсаторному відділеннях електроустаткування у відповідному виконанні. Аварійний і витяжний вентилятори мають бути іскробезпечного виконання, а електродвигуни – вибухозахищеного з будь-яким рівнем вибухозахисту, приточні вентилятори – звичайного, а їх електродвигуни – закритого виконання (при розміщенні їх у вентиляційних камерах і встановленні на повітроводах обернених клапанів). Для місцевого оснащення застосовують світильники з рівнем захисту, не нижчим підвищеної надійності проти вибуху і напругою, не більшою 12 В.

Компресори й апарати хладонових установок великої холодопродуктивності розміщують у машинних відділеннях, у яких повинна забезпечуватися висота проходу для людей не менше 2,2 м від відмітки підлоги до виступаючих зверху частин обладнання (трубопроводів, арматури тощо). Ширина проходу в них така ж, як і в машинних (апаратних) відділеннях холодильних аміачних установок.

Приміщення хладонових установок відносять до категорії невибухонебезпечних. Проте в одному приміщенні з хладоною установкою не допускається розміщувати пристрої з відкритим полум'ям і з температурою поверхні понад 300°C, а також вибухонебезпечне устаткування.

Машинні відділення хладонових установок розташовують на першому поверсі або в підвалі. Двері машинного відділення повинні виходити назовні чи в коридор (вестибюль), відокремлений дверима від інших приміщень, які відчиняються в бік виходу.

За невеликої холодопродуктивності хладонової установки спеціальне машинне відділення для неї не потрібне. Хладонову установку можна розмістити разом з іншим технологічним устаткуванням за умови, що обслуговуючий персонал пройшов відповідне навчання і вміст хладоу в повітрі в разі повного витікання з системи не перевищує 10 % об'єму приміщення.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Забороняється встановлювати холодильні установки на сходових клітках, під сходами, в коридорах, у вузьких проходах, в заповоршених чи вологих приміщеннях.

Металеві елементи конструкції аміачних і хладонових холодильних установок, охолоджуване устаткування повинні бути заземленими. Всі частини, які рухаються і обертаються (маховики, вали, муфти передачі), повинні мати знімні (легко розбірні) суцільні чи сітчасті огорожі.

Для забезпечення віробезпеки фундаменти під компресором (чи агрегатом) ізолюють від стін і колон будови машинного відділення. Під час встановлення агрегатів на перекриттях вживаються заходи щодо зниження передачі вібрації на будівельні конструкції. Рівні шуму і вібрації під час роботи компресора (агрегата) не повинні перевищувати встановлених норм.

За постійного обслуговування холодильних установок персоналом наявність природного освітлення в машинному відділенні обов'язкова. В машинних (апаратних) відділеннях передбачають також штучне робоче і аварійне освітлення. В них влаштовують систему водяного чи парового опалення, яке забезпечує розрахункову температуру повітря  $+16^{\circ}\text{C}$  з непрацюючим устаткуванням. Машинні, апаратні та конденсаторні відділення аміачних холодильних установок мають постійно діючу приточно-витяжну вентиляцію, що розрахована на двократний притік і трикратну витяжку. Аварійна витяжна вентиляція забезпечує в цих приміщеннях восьмикратний обмін повітря впродовж кожної години (без урахування виробничої постійно діючої витяжної вентиляції). Пускові пристрої аварійної вентиляції знаходяться як всередині приміщень, які вентиліюються (біля виходів), так і на зовнішній стіні будівлі. Ввімкнення аварійної вентиляції пусковим пристроєм, що розташований на зовнішній стіні будівлі, супроводжується відключенням електроживлення всього холодильного устаткування.

Машинні відділення хладонових холодильних установок повинні мати приточну і витяжну вентиляцію, що забезпечує трикратний притік і чотирікратну витяжку. Витяжна вентиляція є одночасно й аварійною.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Трубопроводи холодильних установок фарбують в колір, який відповідає їх призначенню. На трубопроводах чорними стрілками мають бути вказані напрямки руху холодоагента, розсолу і води. Трубопроводи в холодильних камерах і технологічних приміщеннях не повинні пересікати вантажний об'єм для запобігання пошкодження їх вантажами чи транспортними засобами.

Холодильні камери з температурою 0°C і нижче мають бути оснащені системою світлозвукової сигналізації «Людина в камері».

У будівлях холодильників передбачається пожежна сигналізація. В приміщеннях холодильних установок повинні бути засоби пожежогасіння.

### **5.3. Загальні заходи безпеки під час експлуатації торгового холодильного устаткування**

У торговому холодильному устаткуванні як холодильний агент використовуються хладони. Технічне обслуговування і експлуатація цього устаткування повинна здійснюватися відповідно до «Правил будови і безпечної експлуатації фреонових холодильних установок».

До експлуатації торгового холодильного устаткування допускаються робітники, які пройшли навчання за програмою технічного мінімуму та інструктаж на робочому місці. Відповідальність за технічний стан і правильну експлуатацію цього устаткування несе особа, призначена керівником підприємства. Монтаж, пуск, технічне обслуговування і ремонт його здійснюють спеціалізовані ремонтно-монтажні підприємства.

У торговому холодильному устаткуванні небезпечна напруга 380 В, можливий витік холодильного агента. Небезпеку являє собою крильчатка вентилятора для обдування конденсатора, яка обертається з великою швидкістю. Для безпечної експлуатації торгового холодильного устаткування треба виконувати низку вимог.

Холодильники, шафи, прилавки, вітрини, збірні камери слід встановлювати в сухих приміщеннях, що добре провітрюються. Якщо збірна камера встановлена в приміщенні, то віддаль від неї до стелі та стін має бути не

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

меншою 0,5 м, а ширина дверей приміщення – не меншою 1,4 м. Двері камер повинні виходити в тамбур чи коридор шириною, не меншою 1,4 м.

Вбудовані в торгове устаткування агрегати повинні працювати тільки за наявності закритих знімних огорож, а не вбудовані – встановлюють на міцній основі, яка позбавляє вібрації, за торговим залом, в суміжному чи підвальному приміщенні (у разі, коли немає такої можливості, агрегат встановлюють біля охолоджуваного об'єкта). Невбудований агрегат повинен бути огороженим.

Не можна встановлювати агрегати у вузьких проходах, на сходових клітках, під сходами, в теплових шлюзах (тамбурах), на земляних підлогах. Агрегат встановлюють на віддалі, не меншій 0,20 м від стіни. Холодильний агрегат не можна встановлювати ближче 1,5 м, а холодильне устаткування з вбудованими агрегатами – ближче 2 м від опалювальних приладів. Ширина проходу до агрегату повинна бути не меншою 0,7 м.

Оптимальний і безпечний режим роботи торгового холодильного устаткування забезпечують прилади автоматики. Холодильний агрегат і щит управління повинні бути заземленими. Опір ізоляції електроустаткування, електропроводки і опір захисного заземлення мають бути відповідно не меншими 5 МОм і не більше 4 Ом.

Зупинка і пуск агрегата відбувається автоматично, тому здійснювати регулювання, технічне обслуговування і ремонт устаткування можна тільки після вимкнення його від мережі на щитку.

Рівні звуку від холодильного устаткування, що встановлене в торгових залах, не повинні перевищувати 60 дБА на віддалі 1 м.

Холодильне устаткування закріплюється за призначеним торговим працівником, який цілком відповідає за нього, слідкує за його правильною експлуатацією і утримує в належному порядку.

Адміністрація підприємства зобов'язана завести на кожен вид устаткування експлуатаційний журнал. На підприємствах, які мають декілька одиниць холодильного устаткування, може бути заведений загальний журнал з відведеними для кожного виду устаткування окремими сторінками.

					00.МР.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

## ВИСНОВОКИ

### 1. Обґрунтування ефективності застосування R717

У рамках дипломного проєкту виконано комплексний аналіз теплофізичних та експлуатаційних характеристик робочої речовини R717 (аміак). На основі проведеного дослідження обґрунтовано доцільність її використання як пріоритетного холодоагенту для промислових систем холодопостачання. Визначено ключові конкурентні переваги R717:

- Екологічна відповідність: Підтверджено повну відповідність R717 сучасним міжнародним екологічним протоколам (Монреальський протокол, Кігалійська поправка). Завдяки нульовим показникам озоноруйнівного потенціалу ( $ODP = 0$ ) та потенціалу глобального потепління ( $GWP = 0$ ), аміак визначено як стратегічно важливий ресурс у контексті реалізації політики «Green Deal».

- Термодинамічна ефективність: Встановлено, що завдяки високій питомій теплоті пароутворення та коефіцієнту тепловіддачі, холодильний цикл на аміаку демонструє на 15–20% вищу енергетичну ефективність у порівнянні з циклами на синтетичних галогеновмісних холодоагентах.

- Техніко-економічні показники: Доведено економічну ефективність впровадження R717 за рахунок низької вартості робочої речовини, зменшення матеріаломісткості трубопроводів та спрощення процедури діагностики витоків.

Водночас ідентифіковано необхідність впровадження підвищених заходів безпеки через токсичність та специфічні вимоги до конструкційних матеріалів (виключення мідних сплавів).

### 2. Результати математичного моделювання

Практична складова роботи полягала у розробці та верифікації методики розрахунку теплофізичних властивостей R717.

- Реалізовано алгоритм розрахунку ключових теплофізичних параметрів (динамічна в'язкість, теплопровідність, густина) у температурному діапазоні

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

від  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що відповідає експлуатаційним режимам сучасних холодильних установок.

- Проведено валідацію отриманих результатів шляхом зіставлення з референтними даними міжнародних баз властивостей речовин (NIST/REFPROP).

- Виконано оцінку адекватності застосованих апроксимаційних поліномів. Графічний аналіз кореляції розрахункових та табличних значень підтвердив високий ступінь збіжності результатів.

### 3. Оцінка похибок та достовірності результатів

Статистичний аналіз отриманих даних дозволив оцінити точність запропонованої математичної моделі.

- Максимальна відносна похибка розрахунків не перевищує 2,5%.

- Локалізація максимуму похибки спостерігається на нижній границі температурного інтервалу ( $t = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), що зумовлено крайовими ефектами апроксимації функцій.

Отримана точність розрахунків є достатньою для вирішення інженерних задач проектування холодильних систем, що дозволяє рекомендувати розроблену методику для практичного застосування.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теоретичні основи холодильної техніки: Метод. Вказівки до вивчення дисципліни та виконання розрах. Роботи для студентів спец. 6.090500 «холодильні машини і установки» ден. та заоч. форм навчання /Уклад.: А.В.Форсюк.-К.: НУХТ, 2003. – 32с.

2. Холодильні машини: Метод. вказівки до викон. курсового проекту на тему: “Поршневий компресор” для студ. спец. 6.090500 “Холодильні машини і установки” ден. та заоч. форм навчання /Уклад.: А.В.Форсюк. – К.: УДУХТ, 2000.

3. Холодильные машины: Учеб. /Под ред. Н.Н.Кошкина. – М.: Пищевая промышленность, 1973.- 510с.

4. Гальперин Д. М. Монтаж и наладка холодильных установок. Справочник. – М.: Пищевая промышленность, 1976.- 480с.

5. Методичні вказівки до розрахунку компресора. – Одеса.: ОДАХ.

6. Холодильні машини: Метод. вказівки до вивч. дисц. та викон. курс. роботи для студ. спец. 6.090500 “Холодильні машини і установки” заоч. форми навчання /Уклад.: А.В.Форсюк, С.М.Василенко, В.І.Гоштовт. – К.: УДУХТ, 2000. – 42с.

7. Розенфельд Л.М., Ткачев А.Г. Примеры и расчеты холодильных машин и аппаратов: Учеб. Пособие. – М.: Госторгиздат, 1960.– 240с.

8. Явнель Б. К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 223 с.; ил. – (Учебники и учебные пособия для техникумов).

9. ДБН В.2.2-42:2021 Будівлі та споруди. Споруди холодильників. Основи проектування, accessed November 28, 2025, [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=98072](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98072)

10. Основи проектування холодильних споруд: вимоги та норми ДБН В.2.2-42:2021, accessed November 28, 2025, <https://termocom.com.ua/ua/osnovi-proektuvannja-holodilnih-sporud-vimogi-ta-normi-dbn-v-2-2-42-2021/>

					00.МР.142.003.011.ПЗ	Арк.
						73
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Heat Load Calculation Methods for Refrigeration Systems - Knowledge, accessed November 28, 2025, <https://www.jinhaocooler.com/info/heat-load-calculation-methods-for-refrigeratio-103127166.html>

12. Refrigeration Load, accessed November 28, 2025, <https://consultancyengineering.com/wp-content/uploads/2023/12/CH-12-Refrigeration-Load.pdf>

13. Calculation of food freezing times and heat transfer coefficients, accessed November 28, 2025, <https://impact.ornl.gov/en/publications/calculation-of-food-freezing-times-and-heat-transfer-coefficients/>

14. Chapter 5. Refrigeration Load | NC State Extension Publications, accessed November 28, 2025, <https://content.ces.ncsu.edu/introduction-to-the-postharvest-engineering-for-fresh-fruits-and-vegetables/5-refrigeration-load>

15. Refrigeration Load Estimating Manual (RLE) - Hussmann Krack, accessed November 28, 2025, <https://www.krack.com/ns/Documents/RLE.pdf>

16. -1- Міністерство освіти і науки України Тернопільський національний т - ELARTU, accessed November 28, 2025, [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/17282/1/metodychnyy\\_posibnyk\\_pra\\_ktychy\\_roboty\\_Holodylna%20technika.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/17282/1/metodychnyy_posibnyk_pra_ktychy_roboty_Holodylna%20technika.pdf)

17. Мнацаканов, Г.К. Основи проектування холодильників: навч. пос. / Г.К. Мнацаканов. – Одеса.: ОДАХ, 2004.- 71 с.

18. Гетун, Г.В. Основи проектування промислових будівель: Навч. посіб. / Г.В. Гетун. – К.: Кондор, 2003. – 210 с.

19. Пилипенко, О.Ю. Проектування холодильних установок і систем [Електронний ресурс]: метод. рекомендації до вивч. дисц. та викон. контрольної роботи для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» освітньо-професійної програми «Холодильні техніка та технології» ден. та заоч. форм навч. / уклад.: О.Ю. Пилипенко. – К.: НУХТ, 2021. – 22 с. (№ 33.129-16.09.2021)

20. Пилипенко, О.Ю. Проектування холодильних установок і систем [Електронний ресурс]: конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

“Магістр” спец. 142 “Енергетичне машинобудування” освітньо-професійної програми «Холодильні техніка та технології» ден. та заоч. форм навч. / О.Ю. Пилипенко. – К.: НУХТ, 2021. – 62 с. (№ 33.130-16.09.2021)

21. Хмельнюк, М.Г. Проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції : підручник / М.Г. Хмельнюк, В.П. Кочетов, А.В. Форсюк; під загальною редакцією М.Г. Хмельнюк. – Херсон.: ФОП Гринь Д.С., 2015. – 162 с.

22. Хмельнюк, М.Г. Холодильні установки та сфери їх використання. Підручник / М.Г. Хмельнюк, О.С. Помазко, І.О. Помазко – Херсон: Гринь Д.С., 2014. - 484 с.

23. Хмельнюк, М.Г. Холодильні установки спеціального призначення. Підручник / М.Г. Хмельнюк, О.С. Помазко – Херсон: Гринь Д.С., 2013. - 488 с.

24. Тітлов О. С., Горикін С. Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості : навч. посібник. Львів : Новий Світ - 2000, 2012. 286 с.

25. Домарецький В. А., Остапчук М. В., Українець А. І. Технологія харчових продуктів : підручник. Київ : НУХТ, 2003. 572 с.

26. Масліков М. М. Холодильна технологія харчових продуктів : навч. посіб. Київ : НУХТ, 2007. 335 с.

					00.MP.142.003.011.ПЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75