

Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Кафедра холодильних установок і кондиціонування повітря



## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему: Дослідження технологічних та техногенних ризиків та наслідків аварій аміачних холодильних систем виробничого призначення

Здобувача Желіби Ю.В.

2 курсу ХМ-161МН групи

Керівник к.т.н., доц. Зімін О.В.

Консультанти: к.т.н., доц. Жихарева Н.В.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від 28.05.2026 р. протокол № 10

Завідувач кафедри ХУКП Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2026 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
Кафедра	Холодильних установок і кондиціонування повітря
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
Освітня програма	Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.

«20» листопада 2025 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Желіби Юрія Володимировича

1. Тема роботи Дослідження технологічних та техногенних ризиків та наслідків аварій аміачних холодильних систем виробничого призначення

Затверджена наказом ОНТУ від 30.01.2025 р. наказ № 51-03

2. Термін задачі здобувачем закінченої роботи 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані роботи  
Схемне рішення існуючої холодильної установки підприємства ТОВ " ФАБРИКА МОРОЗИВА "  
яке розташовано у місті Дніпро.

Холодильний агент – аміак.

Розглядається компресорний цех, конденсаторне відділення, холодильник.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Розділ 1 Вступ;

Розділ 2 Вихідні данні об'єкта.

Розділ 3 Опис використаних методів аналізу і методик оцінки небезпеки експлуатації аху;

Висновки.

Перелік використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація в PowerPoint

Лист 1 План компресорного цеху. План конденсаторного відділення. Шляхи евакуації

Лист 2 План холодильника

Лист 3 Ситуаційний план

Лист 4 План підприємства. Умовні радіуси зон руйнувань

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання виконав
Охорона праці	к.т.н, . доц. Жихарєва Н.В.	27.04.2026	10.05.2026

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 20.11.2025 р.

Керівник \_\_\_\_\_ Зімін О.В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Желіба Ю.В.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	20.11-30.11.2025	виконано
2	Аналіз літературних джерел з питань методів для розрахунку ризиків виникнення аварій	30.11-20.12.2025	виконано
3	Опис методів і моделей, обраних для дослідження ступеня небезпеки та оцінки рівня ризику	10.01-25.02.2026	виконано
4	Оцінка кількості небезпечних речовин, що беруть участь в аварії	26.02-20.04.2026	виконано
5	Оцінка можливих негативних наслідків аварії	20.04-27.04.2026	виконано
6	Аналіз основних причин і факторів виникнення аварій	27.04-17.05.2026	виконано
7	Підготовка презентації та доповіді	17.05-20.05.2026	виконано
8	Відгук керівників, рецензування, підготовка до захисту кваліфікаційної роботи	21.05-05.06.2026	виконано

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Желіба Ю.В.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Зімін О.В.

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.*

*Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Желіба Юрій Володимирович \_\_\_\_\_

## АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної роботи на тему:

**«Дослідження технологічних та техногенних ризиків та наслідків аварій аміачних холодильних систем виробничого призначення»**

Кваліфікаційна робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, графічної частини та презентації.

Метою роботи є оцінка ризиків виникнення аварійних ситуацій, прогнозування їх можливих наслідків та розроблення заходів щодо підвищення рівня промислової безпеки.

У роботі проведено аналіз причин виникнення аварій на аміачних холодильних установках, розглянуто фізико-математичні моделі розвитку аварійних процесів та виконано оцінку можливих наслідків аварійного викиду аміаку. Здійснено прогнозування зон хімічного забруднення, визначено рівні небезпеки окремих елементів системи та проведено оцінку ризику для персоналу і навколишнього середовища.

Розрахунки виконані на прикладі діючої аміачної холодильної установки виробничого підприємства. За результатами дослідження розроблено рекомендації щодо зниження ризику аварій та мінімізації їх наслідків.

**Ключові слова:** аміак, аміачна холодильна система, технологічний ризик, техногенний ризик, аварія, хімічне забруднення, промислова безпека.

## **ABSTRACT**

for the qualification thesis entitled:

### **"Study of Technological and Technogenic Risks and Consequences of Accidents in Industrial Ammonia Refrigeration Systems"**

The qualification thesis consists of a calculation and explanatory report, a graphical part, and a presentation.

The purpose of the study is to assess the risks of emergency situations, predict their possible consequences, and develop measures aimed at improving the level of industrial safety.

The thesis analyzes the causes of accidents in ammonia refrigeration systems, considers physical and mathematical models of accident development, and evaluates the potential consequences of accidental ammonia releases. Forecasting of chemical contamination zones was carried out, hazard levels of individual system components were determined, and risk assessments for personnel and the environment were performed.

The calculations were conducted using an operating ammonia refrigeration system of an industrial enterprise as a case study. Based on the results obtained, recommendations were developed to reduce accident risks and minimize their consequences.

**Keywords:** ammonia, ammonia refrigeration system, technological risk, technogenic risk, accident, chemical contamination, industrial safety.

## ЗМІСТ

1	ВСТУП	7
1.1	Екологічні аспекти використання аміаку як холодильного агенту	9
1.2	Нормативно-правове регулювання використання аміачних холодильних установок в Україні	14
1.3	План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій на аміачних холодильних установках	18
1.4	Статистика аварій та основні причини виникнення аварійних ситуацій	21
1.5	Властивості аміака	32
2	ВИХІДНІ ДАННІ ОБ'ЄКТА	35
2.1	Основні технічні характеристики АХУ	36
2.2	Опис систем автоматичного регулювання, блокування, сигналізації, протиаварійного і протипожежного захисту, інших засобів безпеки	43
3	ОПИС ВИКОРИСТАНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ І МЕТОДИК ОЦІНКИ НЕБЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АХУ	46
3.1	Фізико-математичних моделей і методи розрахунку	46
3.2	Результати аналізу ступеня небезпеки та оцінки рівня ризику	48
3.3	Порогове значення кількості небезпечної речовини токсичної хмари	51
3.4	Використання частотного підходу до аварій з утворенням аміачної хмари	52
3.5	Оцінка хімічної обстановки аварії АХУ з розгерметизацією системи	54
3.6	Прогнозування рівня вибухонебезпеки обладнання АХУ	69
3.7	Визначення прийняттого ризику	76
3.8	Прогнозування територіальних ризиків	79
3.8.1	Прогнозування наслідків (територіальний ризик) пожежі типу "пожежа-спалах"	80
3.8.2	Прогнозування наслідків (територіальний ризик) від надлишкового тиску, ударної хвилі, що формуються під час "пожежі-спалаху"	86
3.9	Оцінка кількості небезпечних речовин, що беруть участь в аварії	89
3.10	Розрахунок ймовірних зон дії уражаючих факторів	90
3.11	Оцінка можливих негативних наслідків для визначення об'єктів "турботи" суспільства (кількість потерпілих, ступінь руйнувань, матеріальні втрати, збитки тощо)	93
	ВИСНОВКИ	96
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	97

					<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>			
<b>Зм.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Желіба Ю.В			<b>Пояснювальна записка</b>	<b>Літ.</b>	<b>Аркуш</b>	<b>Аркушів</b>
Перевір.		Зімін О.В					6	98
Реценз.						ОНТУ ХМ-161МН		
Н. Контр.		Зімін О.В						

## 1. ВСТУП

Сучасна харчова, хімічна та переробна промисловість неможлива без використання потужних холодильних систем. Одним із найбільш поширених холодильних агентів у промисловому холодопостачанні є аміак (R717), який завдяки високій енергоефективності, низькій вартості та екологічній безпеці широко застосовується у холодильниках, морозильних комплексах, м'ясо- та молокопереробних підприємствах, логістичних центрах і системах шокового заморожування продукції. Разом із перевагами аміачні холодильні установки характеризуються підвищеним рівнем небезпеки, оскільки аміак є токсичною, вибухонебезпечною та хімічно активною речовиною.

Промислові аварії, пов'язані з витоком аміаку, можуть призводити до значних матеріальних збитків, забруднення навколишнього середовища, припинення виробничих процесів, а в окремих випадках — до травмування або загибелі персоналу. Особливо небезпечними є аварійні ситуації на великих холодильниках із централізованими аміачними системами, де загальна маса холодоагенту може досягати декількох десятків тонн. За таких умов навіть незначне порушення герметичності обладнання здатне спричинити утворення токсичної хмари аміаку, яка швидко поширюється виробничими приміщеннями або за межами підприємства.

Таким чином ми можемо сказати, що актуальність теми обумовлена рядом факторів:

По-перше, значна кількість підприємств в Україні використовує аміачні холодильні установки, більшість із яких була введена в експлуатацію ще у ХХ столітті. Це означає, що обладнання часто має високий ступінь фізичного та морального зносу.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							7
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

По-друге, недостатній рівень модернізації та автоматизації систем контролю призводить до підвищення ймовірності аварійних ситуацій. Часто відсутні сучасні системи раннього виявлення витоків, що ускладнює оперативне реагування.

По-третє, людський фактор залишається однією з основних причин аварій. Недостатня підготовка персоналу, порушення технологічної дисципліни, ігнорування правил безпеки — усе це підвищує ризик виникнення надзвичайних ситуацій.

По-четверте, сучасні умови, включаючи військові загрози та пошкодження інфраструктури, значно підвищують ризики техногенних аварій. Руйнування або пошкодження промислових об'єктів може призвести до масштабних викидів небезпечних речовин.

Виходячи з цього важливим напрямком підвищення безпеки аміачних холодильних установок є комплексне дослідження технологічних і техногенних ризиків, визначення причин аварій, аналіз наслідків витоків аміаку та розробка ефективних заходів попередження надзвичайних ситуацій. Своєчасна оцінка небезпек дозволяє мінімізувати ймовірність аварій, знизити рівень ризику для персоналу та забезпечити стабільну роботу підприємств.

Метою дані роботи є дослідження технологічних і техногенних ризиків аміачних холодильних систем виробничого призначення, аналіз причин аварій та їх наслідків, а також визначення сучасних методів підвищення безпеки експлуатації промислових холодильних установок.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати фізико-хімічні властивості аміаку як холодоагенту та небезпечної речовини;
- дослідити принципи роботи та конструктивні особливості аміачних холодильних систем;

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							8
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- визначити основні джерела та причини виникнення аварійних ситуацій;
- провести аналіз технологічних і техногенних ризиків;
- оцінити можливі наслідки аварій, зокрема вплив на людей, довкілля та інфраструктуру;
- розглянути методи прогнозування поширення аміаку в атмосфері;
- дослідити існуючі системи захисту та заходи безпеки;
- розробити рекомендації щодо зниження ризиків і підвищення ефективності управління безпекою.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до аналізу ризиків аміачних холодильних систем із урахуванням сучасних умов експлуатації та можливих надзвичайних ситуацій, а також у систематизації факторів, що впливають на рівень техногенної небезпеки.

**Об’єкт дослідження** — аміачні холодильні системи виробничого призначення як потенційно небезпечні технічні системи.

**Предмет дослідження** — технологічні та техногенні ризики, що виникають під час експлуатації аміачних холодильних систем, а також наслідки аварій і методи їх мінімізації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для підвищення рівня безпеки на підприємствах, що експлуатують аміачні холодильні установки, а також при розробці планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій.

### 1.1 Екологічні аспекти використання аміаку як холодильного агенту

Стрімкий розвиток холодильних технологій у ХХ столітті був безпосередньо пов’язаний із широким впровадженням синтетичних холодильних агентів — фреонів. Саме вони тривалий час вважалися найбільш

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>KPM.XUKP.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							9
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

безпечними та технологічно ефективними речовинами для холодильних установок і систем кондиціонування повітря. Завдяки своїм фізико-хімічним характеристикам фреони практично повністю витіснили аміак із багатьох сфер холодопостачання. Проте подальші наукові дослідження показали, що значна частина синтетичних холодоагентів негативно впливає на навколишнє середовище, спричиняючи руйнування озонового шару Землі та посилення парникового ефекту.

Погіршення екологічної ситуації у світі стало причиною підписання низки міжнародних природоохоронних угод. До найважливіших документів належать Віденська конвенція про охорону озонового шару, Монреальський протокол, Рамкова конвенція ООН про зміну клімату та Кіотський протокол. Основною метою цих міжнародних домовленостей стало поступове обмеження або повна заборона використання речовин, які негативно впливають на атмосферу та кліматичну систему планети.

Особливу увагу було приділено хлорфторвуглецям та гідрохлорфторвуглецям, які характеризувалися високим озоноруйнівним потенціалом. Такі холодильні агенти, як R12, R13, R22 та R502, були поступово виведені з експлуатації у більшості країн світу. Пізніше навіть гідрофторвуглеці, що не руйнують озоновий шар, почали розглядатися як небезпечні парникові гази через їх високий потенціал глобального потепління. У результаті цього холодильна промисловість зіткнулася з необхідністю пошуку альтернативних екологічно безпечних холодоагентів.

У сучасних умовах при виборі холодильного агенту особливе значення мають два основні екологічні показники:

ODP — потенціал руйнування озонового шару;

GWP — потенціал глобального потепління.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							10
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 Характеристики холодильних агентів

Тип	ASHRAE	Молекулярна формула	GWP потенціал глобального потепління	ODP потенціал руйнування озонового шару	Клас токсичності та горючості
CFC	R-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	10900	1	A1
	R-11	CCl <sub>3</sub> F	4750	1	A1
	R-502	HCFC-22/CFC-115	4520	0,33	A1
HCFC	R-22	CHClF <sub>2</sub>	1810	0,055	A1
	R-123	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	77	0,02	B1
HFC	R-410A	HFC-32/125	2090	0	A1
	R-407C	HFC-32/125/134a	1770	0	A1
	R-134A	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	1430	0	A1
	R-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	675	0	A2L
	R-454B	HFC-32/HFO-1234 yf	466	0	A2L
	R-152A	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	124	0	A2
HFO	R-1234yf	CF <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	1	0	A2L
Natural refrigerants	R-290	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (Propane)	3	0	A3
	R-600a	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (Isobutane)	3	0	A3
	R-1270	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (Propylene)	2	0	A3
	R-744	CO <sub>2</sub> (Carbon dioxide)	1	0	A1
	R-717	NH <sub>3</sub> (Ammonia)	0	0	B2L

- Токсичність (літери А — низька, або В — висока).
- Горючість/займистість (цифри 1 — не горить, 2L — слабогорючий, 2 — горючий, 3 — легкозаймистий/вибухонебезпечний).

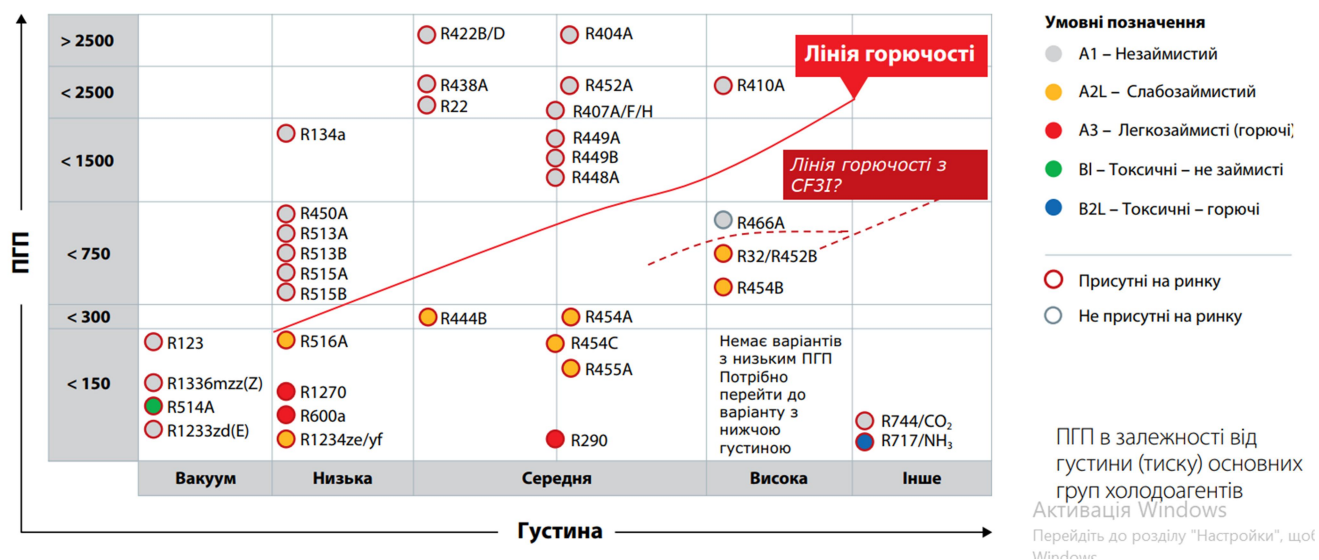
NH<sub>3</sub> (аміак) має клас B2L (висока токсичність, низька швидкість горіння).

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							11
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Саме ці критерії сьогодні визначають перспективність використання того чи іншого холодоагенту в холодильній техніці. У зв'язку з цим відбулося повернення до природних холодильних агентів, які активно використовувалися ще до появи синтетичних фреонів. Найбільш перспективними серед них стали аміак, вуглекислий газ та вуглеводневі холодоагенти.

### Основні використовувані холодоагенти – Картина безперервної еволюції



Аміак у цьому переліку займає особливе місце. Він є природною речовиною, широко поширеною в навколишньому середовищі, не накопичується в атмосфері та не створює довготривалого негативного впливу на клімат. На відміну від синтетичних холодоагентів, аміак має нульовий озоноруйнівний потенціал та практично не впливає на глобальне потепління. Крім того, висока розчинність аміаку у воді сприяє його швидкому видаленню з атмосфери у випадку витоку.

Саме екологічні переваги стали основною причиною активного повернення аміачних холодильних систем у промисловість. На сучасному етапі близько 75% європейського холодильного обладнання для глибокого заморожування та низькотемпературного зберігання харчової продукції працює на аміаку.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							12

Особливо активно такі системи використовуються у Німеччині, Нідерландах, Данії, Швеції та інших країнах Європи.

Важливо відзначити, що розвиток аміачних холодильних технологій сьогодні супроводжується впровадженням нових підходів до проектування систем безпеки. Значна увага приділяється:

- зменшенню загальної заправки аміаку;
- автоматизації процесів;
- дистанційному контролю параметрів;
- використанню сучасних систем герметизації;
- встановленню датчиків витоку аміаку.

Ці заходи дозволяють істотно знизити ризик аварійних ситуацій та мінімізувати вплив людського фактору.

Слід також зазначити, що аміачні холодильні установки дедалі частіше використовуються не лише у традиційних галузях промисловості, але й у великих громадських та адміністративних об'єктах. Наприклад, значна частина сучасних виставкових центрів, банківських установ, логістичних комплексів та аеропортів обладнується енергоефективними аміачними системами кондиціонування та холодопостачання.

Показовим прикладом є використання аміачних холодильних систем у міжнародних аеропортах. Після проведення детального аналізу ризиків було встановлено, що за умови правильного проектування та дотримання сучасних вимог безпеки ризик експлуатації аміачних установок не перевищує ризик використання синтетичних холодоагентів. Саме тому аміачні холодильні установки сьогодні застосовуються в аеропортах Дюссельдорфа, Цюриха, Хітроу та ряді інших міжнародних транспортних вузлів.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							13
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Разом із суттєвими перевагами використання аміаку необхідно враховувати й певні складнощі його експлуатації. Через токсичність та пожежонебезпечність аміак потребує підвищених вимог до герметичності обладнання, надійності трубопроводів та систем автоматики. Крім того, холодильні установки на природних холодоагентах мають складнішу конструкцію, що пов'язано з необхідністю роботи при підвищених тисках та забезпеченням високого рівня безпеки. Це може призводити до збільшення вартості обладнання та витрат на технічне обслуговування.

Проте навіть з урахуванням цих факторів аміак залишається одним із найбільш перспективних холодильних агентів сучасності. Його використання відповідає глобальним тенденціям переходу до екологічно чистих, енергоефективних та ресурсозберігаючих технологій. Саме тому більшість сучасних промислових холодильних систем орієнтовані на застосування природних холодоагентів, серед яких аміак посідає провідне місце.

## 1.2 Нормативно-правове регулювання використання аміачних холодильних установок в Україні

Використання аміаку у промислових холодильних системах потребує суворого державного контролю, оскільки такі установки належать до категорії об'єктів підвищеної небезпеки. Це пов'язано з токсичними властивостями аміаку, можливістю виникнення аварійних ситуацій та потенційною загрозою для людей, виробничих об'єктів і навколишнього середовища. Саме тому в Україні сформована комплексна система нормативно-правового регулювання експлуатації аміачних холодильних систем, яка охоплює питання технічної безпеки, охорони праці, екологічного контролю та цивільного захисту.

Основним нормативним документом у цій сфері є Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки». Даний закон визначає правові, економічні, соціальні та організаційні засади діяльності, пов'язаної з експлуатацією потенційно небезпечних виробництв. Його головна мета полягає у забезпеченні

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							14
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

захисту населення, персоналу підприємств та навколишнього природного середовища від негативних наслідків аварій на небезпечних виробничих об'єктах.

Згідно із законодавством, об'єктом підвищеної небезпеки вважається єдиний виробничий комплекс, до складу якого входять будівлі, технологічні установки, окреме обладнання, трубопроводи, резервуари та інші технічні засоби, що містять небезпечні речовини у кількостях, які можуть створювати загрозу виникнення аварій. Аміачні холодильні установки через наявність токсичного холодоагенту практично завжди підпадають під категорію таких об'єктів.

Контроль за безпечною експлуатацією аміачних систем здійснюють уповноважені державні органи, до яких належать:

- органи державного нагляду за охороною праці;
- служби цивільного захисту;
- екологічні інспекції;
- органи пожежного нагляду;
- санітарно-епідеміологічні служби.

Такий багаторівневий контроль дозволяє забезпечити комплексний підхід до оцінки ризиків та попередження аварійних ситуацій.

Відповідно до вимог чинного законодавства, підприємство, яке експлуатує аміачні холодильні установки, зобов'язане виконувати низку обов'язкових заходів, спрямованих на забезпечення безпеки виробництва. Насамперед суб'єкт господарювання повинен організувати систему попередження аварій та мінімізації їх наслідків. Для цього на підприємстві впроваджуються:

- системи аварійного захисту;
- засоби автоматичного контролю;

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. №

						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							15
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- аварійна вентиляція;
- газоаналізатори;
- плани локалізації та ліквідації аварійних ситуацій.

Крім того, підприємство повинно забезпечувати постійний контроль технічного стану обладнання та проводити регулярні профілактичні огляди холодильних систем.

Важливим обов'язком підприємства є оперативне інформування органів влади та населення у випадку виникнення аварійної ситуації. При аварійному витокі аміаку адміністрація підприємства повинна:

- повідомити аварійно-рятувальні служби;
- поінформувати місцеві органи влади;
- організувати евакуацію персоналу;
- забезпечити проведення заходів із локалізації витоків;
- повідомити населення про потенційну небезпеку.

Одним із ключових напрямків забезпечення техногенної безпеки є ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки. В Україні ця процедура регламентується Постановою Кабінету Міністрів України №1030 від 13 вересня 2022 року, яка визначає порядок проведення ідентифікації та ведення державного обліку небезпечних об'єктів.

Ідентифікація аміачних холодильних систем проводиться у декілька етапів. На першому етапі визначається перелік небезпечних речовин, які використовуються у виробничому процесі. Для холодильних установок такою речовиною є аміак, який класифікується як токсичний холодоагент із високим рівнем небезпеки. При цьому враховується максимально можлива кількість аміаку, яка може знаходитися

Зам. інв. №						Арк.
Підпис і дата						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25
Інв. №						
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

На другому етапі виконується аналіз виробничих ділянок, де розташовані небезпечні речовини. Для аміачних холодильних систем такими зонами можуть бути:

- компресорні відділення;
- ресиверні станції;
- насосні приміщення;
- магістральні трубопроводи;
- конденсаторні установки;
- складські приміщення із холодильним обладнанням.

Третій етап передбачає визначення загальної маси небезпечної речовини в системі. Для цього враховується:

- маса аміаку у ресиверах;
- кількість холодоагенту у трубопроводах;
- об'єм аміаку у теплообмінному обладнанні;
- кількість холодоагенту в технологічних апаратах.

Особливу увагу приділяють саме визначенню порогових мас небезпечних речовин. Якщо загальна кількість аміаку перевищує встановлені нормативами значення, об'єкт автоматично відноситься до певного класу підвищеної небезпеки. Від класу небезпеки залежать вимоги до систем захисту, аварійного реагування та рівня державного контролю.

Для визначення класу небезпеки використовуються спеціальні розрахункові методики, засновані на співвідношенні фактичної маси небезпечної речовини до нормативної порогової маси. У розрахунках враховуються:

- токсичність речовини;
- вибухонебезпечність;
- фізико-хімічні характеристики;

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							17
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- умови зберігання;
- технологічні параметри установки.

У сучасних умовах українське законодавство поступово гармонізується з європейськими вимогами у сфері техногенної та екологічної безпеки. Це особливо важливо для холодильних підприємств, які використовують аміачні системи великої продуктивності. Сучасні нормативні вимоги передбачають:

- впровадження систем управління ризиками;
- автоматичний контроль витоків аміаку;
- створення резервних систем безпеки;
- обов'язкове навчання персоналу;
- регулярну оцінку технічного стану обладнання.

Таким чином, законодавче регулювання експлуатації аміачних холодильних систем в Україні спрямоване на забезпечення максимально можливого рівня безпеки. Комплексний державний контроль, процедура ідентифікації небезпечних об'єктів, жорсткі вимоги до технічного стану обладнання та постійний моніторинг ризиків дозволяють значно знизити ймовірність виникнення аварій та мінімізувати їх можливі наслідки для людей і довкілля.

### **1.3 План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій на аміачних холодильних установках**

Одним із ключових елементів системи техногенної безпеки на підприємствах, де використовуються аміачні холодильні установки, є розробка Плану локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій (ПЛАС). Даний документ являє собою комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на оперативне реагування у випадку виникнення аварії, мінімізацію її наслідків та забезпечення захисту персоналу, населення і навколишнього середовища.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							18
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Необхідність створення ПЛАС визначається вимогами Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки». Відповідно до чинного законодавства, план підлягає погодженню з територіальними органами, відповідальними за цивільний захист та реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру. Це дозволяє забезпечити взаємодію між підприємством, аварійно-рятувальними службами та органами місцевого самоврядування у випадку виникнення надзвичайної ситуації.

Головною метою ПЛАС є створення чіткого алгоритму дій для персоналу підприємства, спеціалізованих аварійних служб та органів влади при виникненні аварійної ситуації. Особливе значення такий документ має для аміачних холодильних систем, оскільки навіть незначний витік аміаку здатний швидко перерости у масштабну техногенну аварію з тяжкими наслідками.

План локалізації та ліквідації аварій повинен враховувати усі можливі режими функціонування холодильного підприємства:

- пуск установки;
- штатну експлуатацію;
- аварійну зупинку;
- проведення ремонтних робіт;
- технічне обслуговування;
- заповнення системи аміаком;
- виведення обладнання з експлуатації.

Розробка ПЛАС може здійснюватися як безпосередньо фахівцями підприємства, так і спеціалізованими організаціями, що мають відповідний досвід у сфері промислової безпеки. При цьому важливо враховувати індивідуальні особливості конкретного холодильного об'єкта:

- тип холодильного обладнання;

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							19
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- загальну масу аміаку;
- планування приміщень;
- розташування аварійних виходів;
- систему вентиляції;
- наявність автоматичних систем захисту.

Основою ПЛАС є прогнозування можливих сценаріїв виникнення аварій. На цьому етапі проводиться аналіз усіх потенційно небезпечних ситуацій, які можуть виникнути під час експлуатації аміачної холодильного установки. До найбільш характерних сценаріїв належать:

- розгерметизація трубопроводів;
- пошкодження ресиверів;
- руйнування компресорного обладнання;
- вибух аміачно-повітряної суміші;
- пожежа у компресорному відділенні;
- відмова автоматичних систем контролю;
- руйнування запірної арматури.

Після визначення можливих сценаріїв проводиться оцінка розвитку аварійної ситуації та її потенційних наслідків. Аналізуються масштаби поширення аміачної хмари, зона токсичного ураження, можливість виникнення вибуху та рівень загрози для персоналу і населення. Особливу увагу приділяють оцінці аварій при несприятливих метеорологічних умовах, коли токсична хмара може поширюватися на значні відстані.

Важливим етапом є перевірка ефективності існуючих систем безпеки підприємства. Під час аналізу оцінюють:

- працездатність аварійної вентиляції;
- ефективність газоаналізаторів;

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							20
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- стан систем автоматичного захисту;
- надійність запобіжної арматури;
- готовність аварійного електроживлення;
- забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту.

Крім технічних засобів, значну роль у локалізації аварій відіграє правильність дій персоналу. Саме тому ПЛАС передбачає детальний аналіз поведінки працівників у разі виникнення аварійної ситуації. Для цього регулярно проводяться:

- навчання персоналу;
- аварійні тренування;
- інструктажі;
- перевірка знань правил безпеки;
- моделювання надзвичайних ситуацій.

Практика показує, що своєчасне та грамотне реагування персоналу значно знижує масштаби аварій та дозволяє уникнути тяжких наслідків. Саме тому сучасні холодильні підприємства приділяють значну увагу підготовці працівників до дій в умовах надзвичайних ситуацій.

#### **1.4 Статистика аварій та основні причини виникнення аварійних ситуацій**

Незважаючи на постійне вдосконалення холодильного обладнання та підвищення вимог до техногенної безпеки, аварії на аміачних холодильних установках продовжують становити серйозну загрозу для людей та навколишнього середовища. Особливу небезпеку становлять великі промислові підприємства, де одночасно експлуатуються значні об'єми аміаку під високим тиском.

Аварією на об'єкті підвищеної небезпеки вважається небезпечна техногенна подія, яка виникає внаслідок порушення технологічного процесу, руйнування

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							21
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

обладнання або викиду небезпечних речовин і створює загрозу життю людей, довкіллю чи виробничим об'єктам. Для аміачних холодильних систем найбільш типовими є:

- витоки аміаку;
- вибухи;
- пожежі;
- руйнування трубопроводів;
- розгерметизація ресиверів;
- відмова систем автоматики.

Основні причини виникнення аварій можна розділити на три великі групи:

1. **Людський фактор та порушення регламентів** (Найчастіша причина): помилки операторів (подача газу у невідключені чи несправні труби), порушення інструкцій під час ремонту та обслуговування, недостатня кваліфікація персоналу.
2. **Знос обладнання та технічні несправності:** корозія металу, трубопроводів та елементів арматури, вихід з ладу запобіжних клапанів, розгерметизація фланцевих з'єднань і зношення ущільнювачів, збої в роботі датчиків тиску, рівня рідкого аміаку або температури, відмова вентиляційних систем та систем раннього виявлення витоку.
3. **Зовнішній механічний чинник, військовий вплив:** Стихійні лиха (землетруси, урагани), пошкодження лінійної інфраструктури під час сторонніх будівельних чи логістичних робіт, та критичний чинник для України — російські обстріли, які призвели до масштабних розгерметизацій та руйнувань обладнання.

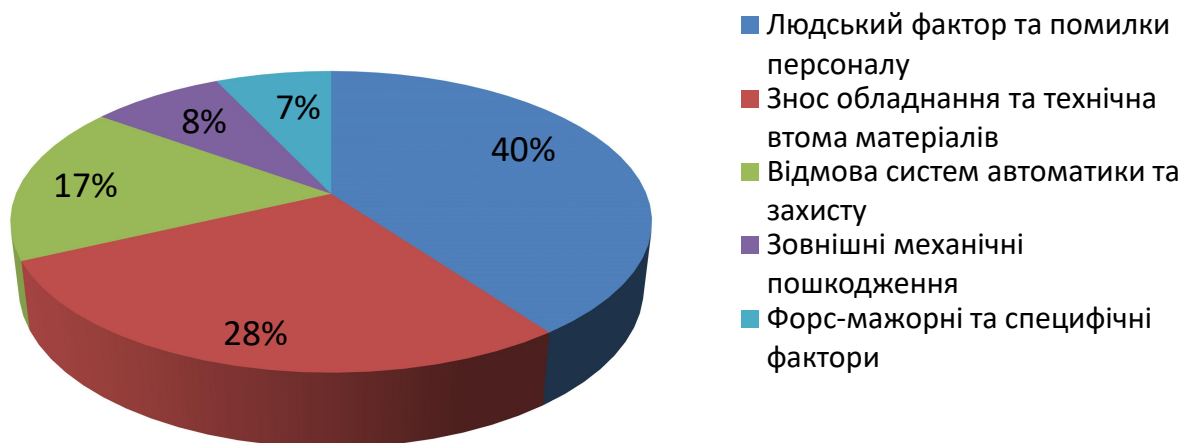
Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							22
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Класифікація причин аварій (нещасних випадків) в залежності від виду операції обслуговування устаткування така:

- обслуговування компресора - 47,7%, з них пуск - 33,4%, звичайна робота - 14,3%;
- обслуговування циркуляційних і захисних ресерів, відокремлювачів рідини - 2,4%;
- обслуговування промпосудин - 7,1%;
- ремонт та монтаж обладнання, арматури - 9,5%;
- заповнення системи аміаком, наповнення аміаком балонів - 4,8%;
- випуск масла з системи - 4,8%;
- відтавання снігової шуби з охолоджувальних пристроїв - 7,1%;
- обслуговування систем охолодження проміжного холодоносія - 7,1%;
- обслуговування конденсаторів - 2,4% ;
- інші технологічні операції і регламентні роботи - 7,1%.

**Основні причини аварій на аміачних холодильних установках (АХУ)**



Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

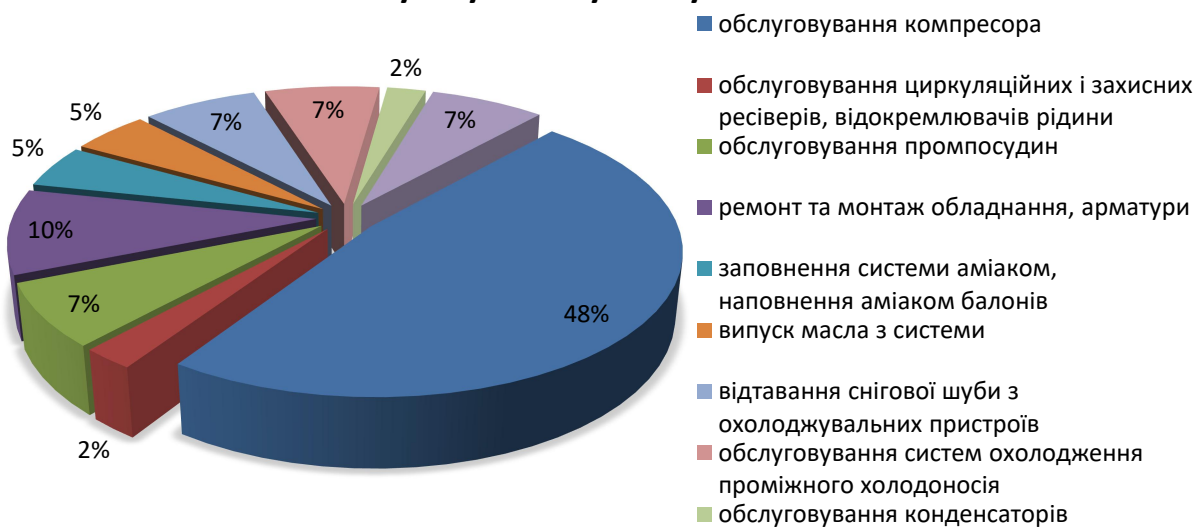
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25

Арк.

23

### Класифікація причин аварій в залежності від виду операції обслуговування устаткування



### Класифікація наслідків для людей та екології

- Високий ступінь травматизму та загроза життю:** Аміак має миттєву токсичну дію на органи дихання та слизові оболонки. Хронологія показує як випадки з поодинокими отруєннями, так і масштабні трагедії із десятками важких пацієнтів (Стерлінг, США, 2024 р. — 30 госпіталізованих; Парагвай, 2025 р. — 40 госпіталізованих).
- Необхідність масштабної евакуації:** Через летючість аміаку та здатність утворювати рухомі токсичні хмари аварії часто вимагають негайної евакуації не лише персоналу (від 40 до 900 осіб, як у випадку з JBS Australia у 2026 р.), а й цивільного населення прилеглих районів (понад 10 000 людей в Китаї у 2015 р., понад 500 людей в Оклахомі).
- Локальний характер екологічного забруднення:** У більшості випадків при своєчасному спрацюванні автоматики або рятувальних служб (МНС/ДСНС) хмара газу розсіюється, а радіус ураження становить від кількох десятків метрів до 2 кілометрів (як під час обстрілів на Донеччині у 2022 р.). Проте, виливи рідкого аміаку

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

KPM.XYKП.1.51-03.1.25

Арк.

24

об'ємом у тонни (як у Сумах чи Куп'янську) створюють суттєве локальне хімічне навантаження на ґрунти та повітря

Найбільш масштабною та резонансною техногенною аварією з витоком аміаку в Україні за останні роки (у мирний час) є аварія на ПАТ «Концерн Стирол» у місті Горлівка Донецької області, яка сталася 6 серпня 2013 року.

Цей інцидент є класичним і водночас трагічним прикладом того, як поєднання людського фактора та технічних несправностей під час ремонту великих промислових об'єктів призводить до катастрофічних наслідків.

### Хронологія та деталі катастрофи на заводі «Стирол» (2013 рік)

#### Що і як сталося:

Аварія відбулася о 14:20 під час проведення планового капітального ремонту заводу №1 (цех з виробництва аміаку). На міжцеховій естакаді стався раптовий розрив (розгерметизація) великого магістрального трубопроводу діаметром 150 мм, який транспортував зріджений аміак під тиском. Розрив супроводжувався потужним бавовняним звуком (гідроударом), після чого рідкий аміак почав миттєво вириватися назовні, випаровуючись у повітря та утворюючи величезну токсичну хмару.

#### Причини інциденту:

#### Офіційне розслідування виявило комплексні порушення безпеки:

Технічна втома металу: Трубопровід зазнав внутрішньої корозії, через що стінки труби втратили необхідну товщину та міцність.

Порушення правил проведення робіт: Ремонтні роботи проводилися без належного повного спорожнення та ізоляції колектора від залишкового тиску рідкого аміаку.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							25
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Наслідки аварії, людські жертви:

Оскільки аміак має сильну задушливу та випалювальну дію на дихальні шляхи, люди, які опинилися в епіцентрі викиду на високій ремонтній естакаді, не мали шансів швидко врятуватися.

Загиблі: 6 осіб (монтажники та зварювальники). П'ятеро загинули майже миттєво від гострого отруєння та опіків легень, шостий помер згодом у лікарні.

Постраждали: 26 осіб було госпіталізовано з важкими хімічними отруєннями, опіками очей та дихальних шляхів (частина перебувала в реанімації).

Екологічний та цивільний вимір:

В атмосферу одночасно потрапило близько 600 кг чистого аміаку.

Локалізація витоку зайняла у рятувальників та внутрішніх служб заводу близько 20–30 хвилин. Спеціальні підрозділи створювали водяні завіси для осадження газу.

У Горлівці виникла серйозна паніка серед населення, оскільки місто буквально оточене великими хімічними підприємствами. Проте, завдяки спекотній погоді та швидким діям ДСНС, аміачна хмара швидко розсіялася вгору, і за межами 1-кілометрової санітарної зони заводу перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) зафіксовано не було.

Найбільш масштабною, небезпечною та резонансною екологічною аварією з витоком аміаку в Україні за часи повномасштабної війни став обстріл та руйнування магістрального аміакопроводу «Гольятті — Одеса» у Куп'янському районі Харківської області на початку червня 2023 року.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							26
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Цей інцидент є безпрецедентним, оскільки обсяги викиду хімічної речовини в сотні разів перевищили стандартні аварії на цивільних холодильних установках.

Деталі екологічної катастрофи на Харківщині (Червень 2023 року)

Що сталося:

5 та 6 червня 2023 року російські війська здійснили серію масованих артилерійських та мінометних обстрілів поблизу села Масютівка (Куп'янський напрямок), де проходила лінійна частина міжнародного аміакопроводу.

Внаслідок точних влучань снарядів сталася масштабна розгерметизація труби. Попри те, що транзит аміаку було зупинено ще у 2022 році, у системі під великим тиском залишався так званий «технічний аміак» (технологічний залишок), необхідний для підтримки працездатності системи.

Масштаб викиду:

За офіційними даними Харківської обласної військової адміністрації (ОВА) та Міністерства захисту довкілля, внаслідок серії прильотів в атмосферу одномоментно та протягом наступної доби витекли колосальні 134 тонни аміаку.

У районі пошкодження (поблизу сіл Масютівка, Західне, Куп'янськ-Вузловий) утворилася величезна біла отруйна хмара, яка почала рухатися за вітром.

Наслідки та ліквідація аварії, ризику для населення:

Одразу після вибуху було розгорнуто моніторингові пости ДСНС України. Влада підготувала евакуаційні автобуси для місцевих жителів. Ситуацію врятував напрямок вітру:

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. №

						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							27
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		



2009	аміаку. При проведенні робіт навантажувач пошкодив технологічний трубопровід холодильної установки. На місце події виїхала група рятувальників МНС. Постраждалих не було.
01 вересня 2009	На Уссурійському рибопереробному заводі стався витік аміаку внаслідок корозії арматури аміачної холодильної установки. Про аварію в Єдину чергово-диспетчерської служби міста Уссурійська повідомив майстер компресорного цеху. Весь персонал підприємства був евакуйований, постраждалих не було. Всього для ліквідації наслідків аварії залучалося 48 чоловік та 17 одиниць техніки, з них від МНС – 28 осіб і дев'ять одиниць техніки.
22 листопада 2010	Стався прорив трубопроводу з аміаком на холодокомбінаті на півночі Москви. Під час проведення ремонтних робіт на території холодокомбінату, розташованого за адресою: Ленінградське шосе, будинок 69, розгерметизувалася 10 міліметрова труба, по якій проходить аміак. Автоматичний захист перекрила подачу аміаку. Люди були евакуйовані, потерпілих немає. Хмара небезпечних не вийшло за межі території підприємства.
10 червня 2011	Викид аміаку стався в Великому Новгороді. На ВАТ "Холодокомбінат" стався викид кубометра аміаку. За медичною допомогою звернулися 14 осіб. Причиною події стала помилка оператора ВАТ "Холодокомбінат", який подав аміак в експлуатованим трубопровід.
11 грудня 2011	Витік аміаку сталася в одному з цехів Белорецького металургійного комбінату. Витекло 50 літрів конденсату аміаку. Площа розливу склала 15 квадратних метрів. З місця події було евакуйовано 15 робочих, постраждалих серед них не виявилось
20 березня 2012	В селі Самарське Азовського району Ростовської області в приватному цеху з фасування і рафінування олії стався викид аміаку. В результаті НП одна з жінок робочих померла на місці події, друга - в медичному закладі. Вісім чоловік звернулися до медичних установ після отруєння.
12 червня 2012	В Москві на холодокомбінаті стався витік аміаку об'ємом один літр. На момент витоку хімічної речовини на холодокомбінаті знаходилися 12 співробітників, всі вони були евакуйовані. Постраждалих немає.
18 квітня 2013 West Fertilizer	Вибух на заводі West Fertilizer, розташованому приблизно за 32 км на Північ від міста Вако (Waco). Повідомляється, що на території заводу загорівся один з резервуарів з аміаком, з якого полум'я перекинулося на інші Будівлі. За останніми даними, жертвами вибух в Техасі стали 70 осіб. Ще понад 200 постраждали людей, около 40 з них у критичному стан.
6 серпня 2013	В Горлівці на ПАТ Концерн «Стирол» на території заводу з виробництва аміаку, який знаходиться на ремонті, трапилася аварія. При проведенні ремонтних робіт на естакаді біля цеху № 1 сталася розгерметизація труби діаметром 150 мм з рідким аміаком, що призвело до його викиду. Внаслідок цієї надзвичайної ситуації загинули 5 осіб (2 на місці, 3 - по дорозі в лікарню) і ще 22 госпіталізовані.
14 жовтня 2013	Одеській області: розірвало трубопровід в Южненському порту і вилилося двісті літрів аміаку. На місці викиду утворилася аміачна хмара.
18 березня 2015	на території львівського заводу вибухнула цистерна з аміаком. проводилися роботи на відкритій території, в результаті яких сталася внезапноеразгерметизація ємності, в результаті чого стався хлопок "
13 червня	Не менше шести осіб стали жертвами витоку аміаку з вантажівки,

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25

Арк.

29





надзвичайно актуальним і потребує постійного вдосконалення систем контролю, технічного нагляду та підготовки персоналу.

### 1.5 Властивості аміака

Аміак – безбарвний газ із задушливим різким запахом IV класу небезпеки (ГОСТ 12.1.005-88), суміш пари якого з повітрям при об'ємному вмісті 15-28% (107-200 мг/л) є вибухонебезпечною. Стиснутий та охолоджений аміак є безбарвною рідиною. У рідкому стані аміак – важкозаймиста речовина.

Найбільший тиск вибуху аміачно-повітряної суміші  $\approx 0,45$  МПа (4,5 кгс/см<sup>2</sup>). При об'ємному вмісті аміаку у повітрі понад 11% (78,5 мг/л) та наявності відкритого полум'я починається його горіння. Сам по собі аміак може горіти тільки в замкнутому просторі. На відкритому повітрі для підтримки горіння аміаку необхідне зовнішнє полум'я. Поширення фронту полум'я у аміаку можна простежити поглядом. При пожежі існує ймовірність, що цегляна будівля, що не має виходів для газоподібних продуктів згорання, впаде, а будівля більш міцної конструкції, в якій є виходи для продуктів згорання, наприклад вікна, конструкції, що легко скидаються, встоїть.

Аміачно-повітряні суміші у відкритому просторі не вибухають. У замкнених обсягах (приміщення, обладнання) вибух можливий.

Аміак, NH<sub>3</sub>, за нормальної температури є газом. Він легко розчиняється у воді, утворюючи комплексне з'єднання, спрощено позначається NH<sub>4</sub>OH. Це основа, тому нейтралізує кислоти, що приводить до виділенні великої кількості теплоти.

Аміак – полярне з'єднання, тобто його молекула має позитивно і негативно заряджені частини, але в цілому є електрично нейтральною. Аміак – хороший розчинник, особливо для інших полярних сполук та солей.

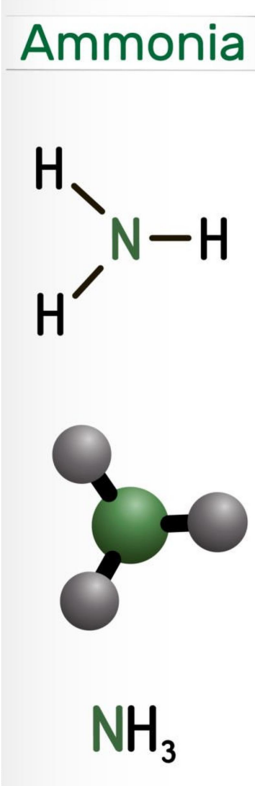
Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. №

						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							32
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Аміак, навіть при незначних концентраціях, має попереджуючий запах і подразнює очі та слизуваті оболонки носоглотки. Рідкий аміак викликає опіки шкіри і становить велику небезпеку у разі попадання в очі.

Рідкий аміак легше води, газоподібний аміак легше повітря. Як хімічна речовина аміак сильно асоційований і стійкий. Дисоціація починається при 450 – 500°C і атмосферному тиску. Більшість звичайних металів не взаємодіють з аміаком. Однак у сполученні з водою чи водяною парою аміак руйнує мідь, цинк, сплави, що містять мідь. Отже, ці матеріали не повинні використовуватися в АХУ, тому що можуть стати причинами аварій або аварійних ситуацій.

### Фізичні і фізіологічні властивості аміаку:

 <p><b>Ammonia</b></p> <p><chem>NH3</chem></p>	хімічна формула	NH <sub>3</sub> ;
	молекулярна маса	17;
	критична температура, °C	132,4;
	критичний тиск, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	11,52 (115,2);
	Температура, °C: - кипіння при 1013 гПа (760 мм рт. ст.) - затвердіння - запалення	мінус 33,3 мінус 77,9 630,0
	об'ємний вміст аміаку в повітрі, % (мг/л): - гранично припустимий в робочій зоні - не викликаючий наслідків після перебування протягом 60 хв - небезпечний для життя - викликаючий смертельний випадок при впливі протягом 30-60 хв	0,0028 (0,02); 0,035 (0,25); 0,05-0,1 (0,35-0,7); 0,21-0,39 (1,5-2,7).

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							33

Будучи природним продуктом, аміак абсолютно нешкідливий для навколишнього середовища. Він не руйнує озон і не створює парниковий ефект, а хороша розчинність у воді не дозволяє, аміаку затримуватися в атмосфері.

Таблиця 1.3 – Ступінь впливу пари аміаку в повітрі на організм людини

Вміст пари аміаку в повітрі, мг/м <sup>3</sup>	Відчуття або вплив на організм людини	Припустимі умови
20	Запах аміаку не відчувається	Гранично припустима концентрація. Гранична санітарна норма вмісту аміаку в повітрі
35	Відчувається запах нашатирного спирту	Припустима концентрація для перебування людей
70	Слабкий запах аміаку	Максимально припустима концентрація при тривалому перебуванні людей
100	Хронічні ураження	Шкідлива дія при тривалому перебуванні людей
200–350	Подразнення дихальних шляхів і горла	Максимально припустима концентрація при короткочасному перебуванні людей
300	Подразнення горла	Те ж
500	Сльозотеча і різь в очах	Шкідлива дія при короткочасному перебуванні людей
1200	Кашель	Небезпечна дія при короткочасному перебуванні людей
1500-2700	Гостре ураження зі смертельним наслідком	При дії протягом від півгодини до 1 години

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		34

## 2.ВИХІДНІ ДАННІ ОБ'ЄКТА

**Місце розташування об'єкта:** м. Дніпро

**Призначення аміачної холодильної установки:** створення і підтримання температурних режимів споживачів штучного холоду для виробництва та зберігання морозива

**Ємність холодильної установки по робочому тілу (холодильному агенту):** - 9,1 тонн аміаку.

### **Основні технологічні вузли холодильної системи:**

Холодильний склад (режим догартування та зберігання морозива):

- Температурний режим у камерах:  $t_k = \text{мінус } 24 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- Температура кипіння холодоагенту в повітроохолоджувачах:  $t_0 = \text{мінус } 32 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Тамбур:

- Температурний режим:  $t_k = \text{мінус } 12 \dots 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- Температура кипіння:  $t_0 = \text{мінус } 32 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Камери підвалу № 1–5, Рампа, Тарна (режим зберігання охолоджених вантажів, тари, перевантаження готової продукції):

- Температурний режим:  $t_k = +5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- Температура кипіння:  $t_{\text{хн}} = \text{мінус } 5 / \text{мінус } 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Технологічне обладнання переробки:

- Система охолодження молока:  $t_{\text{хн}} = +7 / +1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ .
- Лінія виробництва морозива (технологічне холодоспоживання) ескімогенератори  $t_0 = \text{мінус } 45 \text{ } ^\circ\text{C}$ , фризери  $t_0 = \text{мінус } 32 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Машинне та апаратне відділення:

- Компресорний цех аміачної холодильної установки (АХУ).
- Конденсаторне відділення аміачної холодильної установки.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

*КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25*

Арк.

35



Таблиця 2.3 Характеристика холодильної системи .

Холодильна система	Температура випаровування, $t_0$ , °C	Температура конденсації, розрахункова, $t_k$ , °C	Холодо-видатність Q, кВт	Установлен а потужність ел. дв. компресорів , кВт
<b>Холодильна система <math>t_0=-32</math> °C на базі:</b> агрегат компресорний гвинтовий Grasso модель SP2 VE-6D(P) – 2 шт. агрегат компресорний гвинтовий Grasso модель SP2 VE-6D(LM) – 1 шт.	- 32	+32	2x637 1x517	2x132+2x200 1x132+1x110
РАЗОМ			1664	906
<b>Холодильна система <math>t_0=-10</math> °C на базі:</b> агрегат компресорний гвинтовий Grasso модель M LA-5B – 2 шт. агрегат компресорний гвинтовий Grasso модель M LA-5D – 1 шт.	- 10	+32	2x426 1x351	2x132 1x110
РАЗОМ			1133	374
<b>Холодильна система <math>t_0=-45</math> °C на базі:</b> агрегат компресорний гвинтовий Grasso модель SP2 ZE-6D(P) – 3 шт. агрегат компресорний гвинтовий Grasso модель SP2 ZE-6D(P) – 1 шт.	- 45	+32	3x426 1x520	3x160+160 1x160+200
РАЗОМ			1798	1320
<b>Холодильна система <math>t_0=-32/-45</math> °C на базі:</b> агрегат компресорний гвинтовий Grasso модель SP2 ZE-6D(P)– 1 шт.	- 32/-45	+32	1x504/ 1x941	1x323+420
РАЗОМ			1664/ 1798	605
<b>Холодильна система <math>t_{води} = +7/+1,5</math> °C на базі:</b> Водоохолоджувальна аміачна холодильна установка (чиллер) Grasso модель FX VP 650 NH3 - 1 шт. Водоохолоджувальна аміачна холодильна установка (чиллер) Grasso модель FX VP 650 NH3 - 2 шт.	-	+32	1x661 2x661	1x259 2x160
РАЗОМ			1983	579

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							37

Таблиця 2.4 Характеристики споживачів штучного холоду

№ п/п	Камера /апарат	Температура кипіння / холодоносія °С*	Q <sub>0</sub> , кВт/шт.	Кількість повітроохолоджувачів, апаратів, шт.	Q <sub>сум.</sub> , кВт	Сумарна встановлена потужність ел. дв. п/о, кВт
1	Рампа	- 5 / 0,3	26,6	3	79,8	2x0,76x3=4,56
2	Камера №1	- 5 / - 1	20	2	40,0	2x0,76x2=3,04
3	Камера №2	-5 / - 1	28	1	28,0	3x0,76x1=2,28
4	Камера №3	- 5 / - 1	28	1	28,0	3x0,76x1=2,28
5	Коридор	- 5 / - 1	20	1	20,0	2x0,76x1=1,52
6	Камера №4	- 5 / - 1	20	2	40,0	2x0,76x2=3,04
7	Камера №5	- 5 / - 1	20	3	60,0	2x0,76x3=4,56
8	Тарна (II ч.)	- 5 / - 1	20	3	60,0	2x0,76x3=4,56
9	Холод. склад	- 24	100,5	6	603,0	3x3,6x6=64,8

\* - температури холодоносія і кипіння вказані без урахування теплових і гідравлічних втрат.

Максимальна потреба об'єкта в штучному холоді (в залежності від вантажообігу і періоду року) на розрахунковому режимі складає:

на температурному рівні мінус 45°C ~ 1372/1798 кВт;

на температурному рівні мінус 32°C ~ 985/1147/1664 кВт ;

на температурному рівні мінус 10°C ~ 782/1133 кВт;

на температурному рівні +1,5...+7 °C ~1200 кВт.

### Технічні рішення, реалізовані в АХУ:

- Передбачається централізоване холодопостачання споживачів холоду, яке забезпечується від аміачної холодильної системи, що знаходиться в спеціально обладнаному приміщенні компресорного цеху та зовнішньому конденсаторному відділенні;
- Холодильна система працює по парокомпресійному циклу одно та двохступеневого стиснення пари холодильного агента - аміаку, для відведення теплоти конденсації використовуються випарні конденсаторні апарати, циркуляція холодильного агента через повітроохолоджувачі і технологічне

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							38

- обладнання забезпечується за насосною і гравітаційною схемами живлення;
- Холодопостачання споживачів з температурним режимом вище 0 °С передбачається за допомогою проміжного холодоносія – водного розчину Freezium (або аналог), охолодження якого відбувається у двох пластинчастих випарниках, які живляться за зануреною схемою.
  - АХС оснащена лінійним і дренажним ресиверами, мастилозбірниками, іншим необхідним допоміжним обладнанням;
  - Дозвіл на експлуатацію імпортного обладнання відповідно до вимог Закону України "Про охорону праці" отримується Замовником до початку робіт;
  - У проєкті використано посудини АХУ вітчизняного виробництва;
  - Організована повністю автоматизована система охолодження камер холодильника, з використанням сучасних вискоелективних підвісних повітроохолоджувачів та станцій регулювання на базі контролерів Siemens та запірно-регулювальної арматури Danfoss;
  - Живлення повітроохолоджувачів холодильного складу рідким аміаком організовано окремо для кожного повітроохолоджувача. Автоматизована підтримка встановленої температури в камерах здійснюється шляхом пускання / зупинки вентиляторів повітроохолоджувачів. Подача холодильного агенту через розподільчі регулюючі станції дозволяє проводити відтаювання повітроохолоджувачів у автоматичному режимі.

Зам. інв. №							
	Підпис і дата						
Інв. №							
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25



Таблиця 2.7 - Характеристика випарних конденсаторів

Поз. по схемі	Найменування	Характеристика апарата					Кільк. ап, шт.	Встановлена потужність ел. дв., кВт
		Продукт	Темп. конденс, оС	Темп. за мокр. терм., оС	Заг. видатність кВт	Витрата повітря м3/с		
C110; C120; C130; C140; C150	Випарний конденсатор BALTIMORE VRC 0390A-1018E-JA L	Пара аміаку (NH3)	+32	+23	1430	45,5	7	3x7,5 (вент) 1x5,5 (насос) 1x10 (ТЕН)

Таблиця 2.8 – Характеристика насосного обладнання

Поз. по схемі	Найменування	Характеристика				Кількість, шт.	Потужність ел. дв., кВт	Число обертів у хв.
		Найменування	Температура, °С	продук. м <sup>3</sup> /год	напір, м. ст. рід.			
P310; P320	Hermetic CNF 50-200/160	аміак	-32	53,7	30	1/1	9,3	2695
P410; P420	Hermetic CNF 50-200/170 AGX 6,5	аміак	-32/-45	48,9	30	1/1	9,3	2695
P510; P520	Hermetic CNF 50-200/170 AGX 6,5	аміак	-45	48,9	30	1/1	9,3	2695
P221; P231	SEMPA TKF-M 65-160 EFF	Freezium (27%)	-5	82,8	30	1/1	10,14	2900
P810; P820	Grundfos NB 125-250/240	вода	+1,5	227,2	17	1/1	15,0	1470
P830; P840	Grundfos NB 125-315/322	вода	+1,5	206,4	35	1/1	30,0	1470
P911; P912	SEMPA TKF-M 80-250	вода	+42	84,2	23,9	1/1	7,95	1450

Таблиця 2.10 - Характеристика пластинчастих теплообмінних апаратів

Поз. по схемі	Найменування	Середовище	Найменування продукту/ Температура, °С		Максим. теплове навантаж., кВт	Витрати середовища, кг/год	Кільк. ап, шт.	Характеристика апарата	
			вхід	виход				Пр-ть, кВт	Δt, °С
H210	Переохолоджувач рідкого аміаку Alfa Laval M10-BWFR	Аміак	+32	+22	160	12 000	1	160	10
		Вода	+20	+26,9		20 000			6,9
H220 H230	Випарник Alfa Laval M10-BWFG	Аміак	-10	-10	350	1150	2	350	-
		Freezium	-1	-5		96 930			4
H910	Мастилоохолоджувач Анкор-Теплоенерго P-P044-25,08-24-1402	Вода	45	35	970	82 200	1	970	10
		Вода	20	42		38 200			22

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. №

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата
-----	--------	------	--------	--------	------

KPM.XYKП.1.51-03.1.25

Арк.

41

Таблиця 2.11 Характеристика ємнісного обладнання

Поз. по схемі	Найменування обладнання	Найменування сер-ща	Необхідна ємність апарату, м <sup>3</sup>	Параметри робочого режиму		Характеристика обладнання			Кільк. ап-тів, шт.
				Р <sub>р</sub> , бар (надл.)	t <sub>р</sub> , °C	Об'єм, м <sup>3</sup>	Р <sub>роз.</sub> , бар (надл.)	t <sub>роз.</sub> , °C	
R101, R102	Лінійний ресивер (термосифон)	аміак (NH <sub>3</sub> )	6,0	11,38	+35	6,0	-1/18	-30 ÷ +50	2
R201	Циркуляційний ресивер	аміак (NH <sub>3</sub> )	3,4	1,89	-10	3,4	-1/12	-50 ÷ +50	1
R301	Циркуляційний ресивер	аміак (NH <sub>3</sub> )	8,0	0,07	-32	8,0	-1/12	-50 ÷ +50	1
R401	Циркуляційний ресивер	аміак (NH <sub>3</sub> )	16,0	-0,47	-45/-32	16,0	-1/12	-50 ÷ +50	1
R501	Циркуляційний ресивер	аміак (NH <sub>3</sub> )	16,0	-0,47	-45	16,0	-1/12	-50 ÷ +50	1
R202, R302, R402, R502,	Маслозбірник циркуляційного ресивера	масло	0,05	7,57	+20	0,05	-1/12	-50 ÷ +50	1
R701, R702	Маслозбірник	масло	0,4	7,57	+20	0,5	-1/12	-20 ÷ +50	1
R601	Дренажний ресивер	аміак (NH <sub>3</sub> )	9,44	10,67	+30	9,44	-1/12	-50 ÷ +50	1
R602, R603	Дренажний ресивер	аміак (NH <sub>3</sub> )	6,0	10,67	+30	6,0	-1/12	-50 ÷ +50	1
R801, R801	Бак оборотної води	вода	25	0,0	+45	вода	25	+45	2
R912	Розширювальний бак	Freezium	0,6	4,0	-1	0,6	6	+120	1
R913	Розширювальний бак	Вода	0,1	3,0	+45	0,1	3	+120	1

Таблиця 2.12 Характеристики приладів охолодження камер

Поз.	Найменування	Температура, °C			Кіл. апаратів, шт.	Характеристика апарата			
		на вході/ виході				Продуктивність, кВт	Витрати середовища, м <sup>3</sup> /год (кг/год)	Площа теплообмінної поверхні, м <sup>2</sup>	Потужність та кількість вентиляторів кВт х шт.
ПО.Х6.1÷3	Повітроохолоджувач Güntner DGN 066C/27/12P	повітря	+7	+3,7	3	26,6	16 940	163	0,76 x 2
		холодоносій	-5	0,3			4,82		
ПО.Х1.1÷2 ПО.Х4.1÷2 ПО.Х5.1÷3 ПО.Х7.1	Повітроохолоджувач Güntner DGN 066C/27/12P	повітря	+5	+2,4	8	20,0	16 940	163	0,76 x 2
		холодоносій	-5	-1			4,82		
ПО.Х2.1 ПО.Х3.1	Повітроохолоджувач Güntner DGN 066C/37/8P	повітря	+5	+2,5	2	28,0	25 410	244,5	0,76 x 3
		холодоносій	-5	-1			6,74		
ПО.Х8.1÷3	Повітроохолоджувач Güntner DGN 066C/27/12P	повітря	+5	+2,4	3	20,0	16 940	163	0,76 x 2
		холодоносій	-5	-1			4,82		
ПО.А1.1÷6	Повітроохолоджувач Güntner GACV AP 090,2 JN/3A-A2,H	повітря	-24	-26,5	6	100,5	88 092	518,2	3,6 x 3
		аміак	-33	-33			(926)		
ПО.А2.1÷4	Повітроохолоджувач Güntner S-ADHN 051C/212/12P	повітря	-15	-21,3	4	28,8	10 187	88,4	0,39 x 2
		аміак	-33	-33			(266)		

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. №

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата
-----	--------	------	--------	--------	------

КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25

Арк.

42

## 2.2.Опис систем автоматичного регулювання, блокування, сигналізації, протиаварійного і протипожежного захисту, інших засобів безпеки

Аміачна холодильна установка (АХУ) оснащена комплексною системою автоматизації, яка забезпечує функції контролю, керування, сигналізації та захисту технологічного обладнання. Робота холодильної системи, включаючи запуск, зупинку, підтримання заданих режимів і виконання допоміжних операцій, здійснюється в автоматичному режимі. У разі необхідності передбачена можливість ручного керування обладнанням черговим персоналом компресорного цеху. Рівень автоматизації установки відповідає чинним нормативно-технічним вимогам щодо експлуатації аміачних холодильних систем та забезпечення їх безпечної роботи.

Система автоматичного захисту та керування АХУ забезпечує:

- захист компресорного обладнання від гідравлічних ударів, перевищення допустимих параметрів та інших аварійних режимів роботи;
- контроль технологічних параметрів першого ступеня стиснення, зокрема рівня рідкого аміаку в циркуляційному ресивері, тиску нагнітання, температури нагнітання та тиску мастила;
- контроль параметрів другого ступеня стиснення, включаючи рівень рідкого аміаку в проміжній посудині, температуру та тиск нагнітання, а також стан системи змащування;
- автоматичне відключення компресорів при виникненні небезпечних відхилень контрольованих параметрів.

Для реалізації функцій автоматичного захисту використовуються реле тиску, реле перепаду тиску, температурні датчики та інші засоби контрольно-виміральної техніки.

Аміачні насоси обладнані датчиками-реле перепаду тиску між лініями всмоктування та нагнітання, що забезпечує контроль їх нормальної роботи. На циркуляційних ресиверах і проміжних посудинах встановлено по два незалежних датчики рівня, які дублюють один одного та забезпечують аварійне відключення компресорів при перевищенні допустимого рівня рідкого аміаку.

Для контролю граничних рівнів рідини у посудинах і технологічних апаратах застосовуються реле мінімального та максимального рівнів, які подають світлові й

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							43
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

звукові сигнали у випадку відхилення параметрів від установлених значень. Такі засоби контролю передбачені для циркуляційних, лінійних і дренажних ресиверів.

Система сигналізації установки включає:

- технологічну сигналізацію, що відображає стан роботи обладнання та наявність напруги в електричних колах;
- попереджувальну сигналізацію, яка спрацьовує при досягненні гранично допустимих параметрів та супроводжується світловим сигналом жовтого кольору і звуковим оповіщенням;
- аварійну сигналізацію, яка вмикається у разі виникнення небезпечних режимів роботи та супроводжується миготливим червоним світловим сигналом і звуковою сигналізацією.

Регулювання та перевірка налаштувань приладів автоматизації компресорних агрегатів виконуються обслуговуючим персоналом залежно від сезонних умов експлуатації. Параметри спрацьовування реле встановлюються з урахуванням допустимого відхилення від робочих режимів у межах 10–15 %.

Додатково система безпеки АХУ передбачає використання:

- здвоєних запобіжних клапанів, установлених на апаратах, трубопроводах і посудинах установки через триходові вентиля, що забезпечують постійний зв'язок обладнання із запобіжними пристроями;
- зворотних клапанів на нагнітальних трубопроводах компресорів і насосів, а також на колекторах систем охолодження;
- перепускних клапанів типу OFV-20;
- автоматизованої системи керування повітроохолоджувачами камер у режимах охолодження та відтаювання;
- соленоїдних клапанів нормально закритого типу, які забезпечують автоматичне розділення системи холодопостачання при припиненні електроживлення;
- контрольно-вимірювальних приладів (манометрів, мановакуумметрів, термометрів);
- пристроїв візуального контролю рівня рідкого аміаку;
- фільтрів очищення холодильного агента.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>KPM.XYKП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							44
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

У складі автоматизованої системи керування використовуються контролери Siemens та запірно-регулювальна арматура Danfoss.

Усе обладнання аміачної холодильної установки, трубопровідні мережі, електротехнічні системи, засоби КВПіА та запобіжна арматура відповідають вимогам чинних нормативно-технічних документів України та європейських стандартів безпеки.

Система протиаварійного захисту також включає:

- припливно-витяжну та аварійну вентиляцію виробничих приміщень;
- можливість аварійного відключення електрообладнання та припливної вентиляції кнопками біля входів до компресорного цеху;
- автоматичне ввімкнення резервних вентиляторів у разі виходу з ладу основних;
- безперервний контроль концентрації парів аміаку в компресорному та конденсаторному відділеннях, а також у холодильних камерах.

Зам. інв. №						Підпис і дата	Інв. №							КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
															45
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата									

### 3. ОПИС ВИКОРИСТАНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ І МЕТОДИК ОЦІНКИ НЕБЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АХУ

#### 3.1. Фізико-математичні моделі і методи розрахунку

Аміак, який використовується як холодильний агент у промислових холодильних установках, належить до небезпечних хімічних речовин. У разі порушення герметичності системи або відхилення технологічних параметрів його вплив може становити загрозу для життя та здоров'я персоналу. У процесі роботи аміачної холодильної установки аміак проходить послідовні фазові переходи між рідким і пароподібним станами, що супроводжується зміною температури, тиску та теплофізичних характеристик середовища. Для дослідження роботи холодильних систем і оцінки рівня їх безпеки застосовуються фізичні, термодинамічні та фізико-математичні моделі.

Під час аналізу функціонування аміачної холодильної установки особливу увагу приділяють процесам руху рідкого аміаку, пари та парорідинних сумішей у трубопроводах і технологічних апаратах. Розрахункові моделі враховують вплив температури, тиску, гідравлічних опорів, режимів течії, а також можливі корозійні процеси та взаємодію холодоагенту з конструкційними матеріалами обладнання.

Окремий напрям досліджень пов'язаний із моделюванням процесів кипіння аміаку у випарниках. Інтенсивність теплообміну в таких системах залежить від теплового навантаження, режиму циркуляції холодоагенту, складу парорідинної суміші та геометричних параметрів теплообмінної поверхні. Для опису цих процесів використовуються рівняння тепломасообміну та методи термодинамічного аналізу.

При моделюванні роботи компресорного обладнання враховуються процеси стискання аміаку, зміни температури й тиску на сторонах всмоктування та нагнітання, а також можливість виникнення режиму «вологого ходу». Особлива увага приділяється аналізу динаміки зміни параметрів у патрубках всмоктування компресора та оцінці навантажень на елементи високого тиску.

Для конденсаторів розглядаються моделі теплообміну та конденсації аміаку залежно від типу апарата, температури навколишнього середовища та режимів

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. №

							<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата			46

експлуатації. У розрахунках враховується ефективність відведення теплоти конденсації та стійкість роботи системи в умовах змінного теплового навантаження.

Контроль технологічних параметрів у холодильній установці здійснюється за допомогою систем автоматизації та захисної автоматики. Датчики температури, тиску, рівня рідкого аміаку та інші контрольно-вимірювальні прилади забезпечують підтримання безпечних режимів експлуатації обладнання. При цьому надійність функціонування автоматизованих систем є одним із ключових факторів безпеки АХУ.

Відмови або помилкові спрацювання елементів захисної автоматики розглядаються як випадкові події, що можуть призвести до розвитку аварійної ситуації. Для оцінки ймовірності таких подій застосовуються методи теорії ймовірностей і математичної статистики. Найбільш поширеним підходом є використання експоненціального закону розподілу ймовірності безвідмовної роботи обладнання:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau}$$

де:

$P(\tau)$  — ймовірність безвідмовної роботи елемента протягом часу ;

$\lambda$  — інтенсивність відмов;

$\tau$  — час експлуатації.

При аналізі розвитку аварійних ситуацій враховується незалежність окремих відмов елементів автоматики, однак послідовність розвитку подій у складних системах може формувати ланцюг взаємопов'язаних аварійних процесів. Для оцінки умовної ймовірності виникнення подальших відмов застосовується байєсівський підхід, який дозволяє врахувати залежність між попередніми та наступними подіями.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}$$

Найбільш небезпечними сценаріями аварій в аміачних холодильних установках є випадки розгерметизації обладнання та викиду аміаку. Особливу небезпеку становлять пошкодження елементів системи високого тиску, таких як компресори, ресивери або конденсатори. У таких ситуаціях можливі механічні

Зам. інв. №						Арк. 47
Підпис і дата						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25
Інв. №						Арк. 47
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	

руйнування обладнання, утворення уламків конструкцій та інтенсивне виділення парів аміаку в робочу зону.

Після розгерметизації рідкий аміак починає інтенсивно випаровуватися. Швидкість випаровування залежить від температури навколишнього середовища, площі розливу, теплофізичних властивостей поверхні, вологості повітря та інших факторів. Висока теплота пароутворення аміаку призводить до швидкого охолодження рідкої фази, що зменшує інтенсивність подальшого випаровування.

Процеси випаровування аміаку в закритих приміщеннях мають особливо небезпечний характер через можливість утворення аміачно-повітряних сумішей із вибухонебезпечними концентраціями. У випадку відсутності вентиляції або недостатнього повітрообміну концентрація аміаку в компресорному цеху може досягати критичних значень.

Формування та поширення аміачної хмари в атмосфері при зовнішньому викиді холодоагенту описується моделями турбулентної дифузії та конвективного перенесення домішок у повітрі. Поширення токсичної хмари залежить від метеорологічних умов, швидкості вітру, температури повітря, рельєфу місцевості та характеру забудови території.

Оцінка ризику аварійних ситуацій базується на поєднанні детермінованих і ймовірнісних методів аналізу. Детерміновані моделі дозволяють описати фізичні процеси випаровування, теплообміну та зміни параметрів системи, а ймовірнісні методи використовуються для оцінки частоти виникнення небезпечних подій та можливих наслідків аварій.

Комплексне використання фізико-математичних моделей дає можливість прогнозувати розвиток аварійних сценаріїв, визначати рівень техногенного ризику та обґрунтовувати ефективні заходи підвищення безпеки експлуатації аміачних холодильних установок.

### 3.2. Результати аналізу ступеня небезпеки та оцінки рівня ризику

Визначення ступеня небезпеки та оцінка рівня ризику під час експлуатації аміачних холодильних установок є одним із найважливіших напрямів забезпечення промислової безпеки підприємства. Будь-який технологічний процес, пов'язаний із

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							Арк.
			КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				

використанням небезпечних речовин, характеризується певною ймовірністю виникнення аварійних ситуацій, тому повне усунення ризику є практично неможливим. Сучасний підхід до забезпечення безпеки базується на принципі досягнення такого рівня ризику, який вважається допустимим відповідно до вимог чинного законодавства, нормативно-технічної документації та загальноприйнятих міжнародних підходів у сфері техногенної безпеки.

Аміак, який використовується як холодильний агент у промислових холодильних установках, належить до небезпечних хімічних речовин через свої токсичні властивості, здатність швидко випаровуватись та утворювати небезпечні концентрації в повітрі. У разі аварійної розгерметизації системи можливе утворення токсичної аміачної хмари, яка здатна поширюватися як у межах виробничих приміщень, так і за територією підприємства. За певних умов аміак також може створювати вибухонебезпечні пароповітряні суміші, що додатково підвищує рівень потенційної небезпеки.

Основними джерелами небезпеки при експлуатації аміачної холодильної установки є компресорне обладнання, трубопроводи, ресивери, насосне обладнання, теплообмінні апарати та запірно-регулювальна арматура. Найбільш небезпечними сценаріями розвитку аварій вважаються порушення герметичності обладнання, перевищення допустимого тиску в системі, гідравлічні удари, відмови систем автоматичного захисту, а також порушення режимів роботи компресорних агрегатів. Значний вплив на рівень ризику мають також помилки обслуговуючого персоналу, несвоєчасне технічне обслуговування обладнання та відмови систем електропостачання або вентиляції.

Під час оцінки рівня безпеки враховуються кількість аміаку в системі, параметри його циркуляції, температурні режими роботи установки, особливості розташування обладнання, рівень автоматизації технологічних процесів та наявність систем протиаварійного захисту. У проєктованій аміачній холодильній установці передбачено використання сучасних технічних рішень, які суттєво знижують ймовірність виникнення аварійних ситуацій та мінімізують можливі наслідки їх розвитку.

Система холодопостачання виконана за герметичним замкненим циклом циркуляції аміаку, що практично виключає його потрапляння у навколишнє

Зам. інв. №							Арк.
Підпис і дата							49
Інв. №							КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	

середовище під час нормального режиму експлуатації. Для забезпечення безпечної роботи установки проєктом передбачено застосування комплексної автоматизованої системи керування технологічними процесами, виконаної на базі обладнання SIEMENS. Система автоматизації забезпечує постійний контроль температури, тиску, рівнів рідкого аміаку, параметрів роботи компресорів, насосів та вентиляційного обладнання. У разі відхилення контрольованих параметрів від допустимих значень автоматично активуються системи аварійного захисту, здійснюється відключення обладнання та вмикається аварійна вентиляція.

Особливе значення для забезпечення безпеки має система контролю загазованості приміщень. У компресорному цеху, конденсаторному відділенні та інших приміщеннях, де можливе накопичення аміаку, встановлюються газоаналізатори, які забезпечують безперервний моніторинг концентрації аміаку в повітрі. При досягненні гранично допустимих концентрацій система автоматично подає світлову та звукову сигналізацію, а при подальшому збільшенні концентрації виконується аварійне відключення обладнання та запуск аварійної вентиляції.

Для зниження ризику руйнування обладнання проєктом передбачено встановлення запобіжних клапанів, реле тиску, реле температури, систем захисту компресорів від гідравлічного удару та систем контролю рівня рідкого аміаку. Наявність дубльованих приладів контролю та резервних елементів системи підвищує надійність роботи холодильного обладнання та забезпечує додатковий рівень безпеки.

Оцінка ризику аварій виконується із застосуванням імовірнісних методів аналізу. При цьому враховуються статистичні дані щодо аварій на аналогічних об'єктах, характеристики надійності обладнання, імовірність відмови окремих елементів системи та можливі сценарії розвитку аварійних ситуацій. Найбільш небезпечним сценарієм вважається аварійний викид рідкого аміаку зі сторони високого тиску з подальшим інтенсивним випаровуванням та утворенням токсичної хмари.

Поширення аміачної хмари залежить від багатьох факторів, серед яких найбільше значення мають маса викинутого аміаку, температура навколишнього середовища, швидкість і напрямок вітру, атмосферна вологість та особливості рельєфу місцевості. Для оцінки можливих наслідків застосовуються фізико-математичні моделі розповсюдження токсичних речовин у повітрі. Такі моделі

Зам. інв. №						Арк.
Підпис і дата						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25
Інв. №						Арк.
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	

дозволяють визначити межі небезпечної зони, прогнозовані концентрації аміаку, час поширення токсичної хмари та можливий вплив на персонал і населення.

З урахуванням прийнятих технічних рішень, високого рівня автоматизації, використання сучасних засобів контролю та протиаварійного захисту, а також відносно невеликої кількості аміаку в системі рівень ризику експлуатації проєктованої аміачної холодильної установки оцінюється як допустимий. Реалізовані технічні та організаційні заходи забезпечують своєчасне виявлення небезпечних ситуацій, локалізацію можливих аварій та мінімізацію їх впливу на персонал, обладнання та навколишнє середовище.

### 3.3. Порогове значення кількості небезпечної речовини токсичної хмари

У разі аварійного викиду аміаку одним із найбільш небезпечних факторів є утворення токсичної пароповітряної хмари, яка може становити загрозу для персоналу підприємства та населення прилеглих територій. Аміак характеризується високою леткістю, тому при розгерметизації обладнання відбувається його інтенсивне випаровування з утворенням токсичної атмосфери. Ступінь небезпеки такої аварії визначається кількістю аміаку, що потрапив у навколишнє середовище, швидкістю його випаровування та умовами поширення в атмосфері.

Для оцінювання масштабів можливих наслідків аварій використовують залежність між масою небезпечної речовини та кількістю можливих смертельних випадків. В основу такого підходу покладено статистичний аналіз аварій, пов'язаних із викидом токсичних речовин, а також оцінювання рівня ураження людей залежно від концентрації небезпечної речовини в повітрі.

Кількість можливих смертельних випадків визначається співвідношенням:

$$N = M_i \cdot Q$$

де:

N — кількість загиблих;

M<sub>i</sub> — питомий коефіцієнт смертності для конкретної речовини;

Q — питомий коефіцієнт смертності для конкретної речовини.

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
			Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Для аміаку питомий коефіцієнт смертності приймається:

$$M_i = 0.05 \text{ чол/т}$$

У міжнародній практиці аварія вважається великою у випадку, якщо кількість загиблих становить не менше 10 осіб. Виходячи з цього, порогове значення маси аміаку, здатне призвести до значних наслідків, визначається за формулою:

$$Q = \frac{10}{0.05} = 200\text{т}$$

Отримане значення свідчить про те, що для виникнення масштабної аварії з тяжкими наслідками необхідний одночасний викид значної кількості аміаку. У проєктованій аміачній холодильній установці загальна кількість холодоагенту для I черги становить приблизно 9,1 т, що є значно меншим за порогове значення.

Таким чином, за критерієм маси небезпечної речовини проєктована холодильна установка не належить до об'єктів із високою ймовірністю виникнення великих техногенних аварій із масовими ураженнями населення. Водночас навіть незначні витoki аміаку можуть створювати небезпечні умови для персоналу в межах виробничих приміщень, тому особлива увага приділяється системам газового контролю, вентиляції, аварійного захисту та організації дій персоналу у разі виникнення аварійної ситуації.

### 3.4. Використання частотного підходу до аварій з утворенням аміачної хмари

Для оцінювання ризику виникнення аварій із викидом аміаку широко застосовується частотний підхід, який базується на аналізі статистичних даних щодо аварійних ситуацій на промислових об'єктах. Основна мета такого підходу полягає у встановленні взаємозв'язку між частотою виникнення аварій та масштабом їх можливих наслідків.

Суть методу полягає у побудові двох функціональних залежностей. Перша залежність характеризує частоту виникнення аварій, у яких бере участь певна кількість небезпечної речовини:

$$F = F(Q)$$

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №							КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
										52
			Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Друга залежність описує частоту аварій із певною кількістю загиблих:

$$F = F(N)$$

На основі статистичних даних визначають частоту аварій, у яких можливе ураження певної кількості людей, після чого встановлюють відповідну масу небезпечної речовини, яка бере участь в аварії.

Для порогового рівня смертності:

$$N = 10$$

за статистичними оцінками встановлено, що маса аміаку, яка може бути пов'язана з такими наслідками, становить приблизно:

$$Q \approx 500 \text{ т}$$

Отримане значення суттєво перевищує кількість аміаку, що міститься у проєктованій холодильній установці. Це свідчить про те, що ймовірність виникнення масштабної аварії з масовими наслідками для населення є низькою.

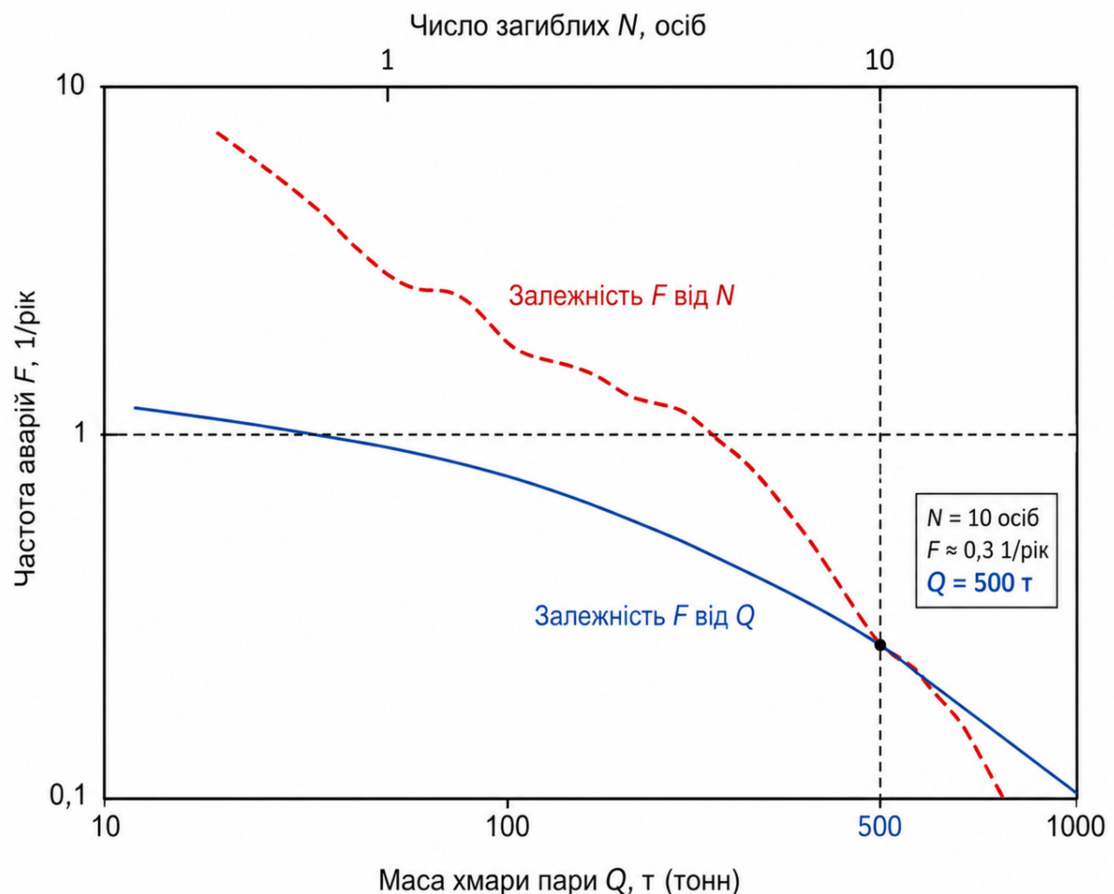


Рис.3.1 – Частотний підхід до хмари аміаку

Водночас аналіз статистики аварій показує, що найбільш типовими для аміачних холодильних установок є локальні витіки аміаку, пов'язані з порушенням

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

герметичності трубопроводів, несправністю арматури або помилками під час технічного обслуговування. Саме тому основна увага під час проєктування приділяється попередженню локальних аварій та забезпеченню швидкої локалізації можливих витоків.

З цією метою у проєкті передбачено використання сучасної системи автоматизації, безперервного контролю параметрів роботи обладнання, аварійної вентиляції, систем контролю загазованості та автоматичного блокування аварійних ділянок. Значна увага приділяється також підготовці персоналу, проведенню регламентного технічного обслуговування та постійному контролю технічного стану обладнання.

Застосування частотного підходу дозволяє не лише оцінити рівень техногенного ризику, але й обґрунтувати необхідність впровадження конкретних технічних та організаційних заходів безпеки. Результати проведеного аналізу підтверджують, що за умови дотримання вимог нормативної документації, правильної експлуатації обладнання та належного функціонування систем

### 3.5. Оцінка хімічної обстановки аварії АХУ з розгерметизацією системи

Оцінювання хімічної обстановки у випадку аварійної розгерметизації аміачної холодильної установки є одним із ключових етапів аналізу промислової безпеки підприємства. Проведення таких розрахунків дозволяє визначити масштаби можливого хімічного забруднення, оцінити рівень небезпеки для виробничого персоналу та населення, а також обґрунтувати необхідні організаційні й технічні заходи щодо локалізації та ліквідації наслідків аварії. Для аміачних холодильних установок дана проблема є особливо актуальною, оскільки аміак належить до небезпечних хімічних речовин токсичної дії, а його викид у навколишнє середовище може призвести до формування токсичної хмари, що поширюється на значні відстані.

Оцінка хімічної обстановки під час аварій на АХУ виконується відповідно до вимог чинної нормативної бази України, зокрема згідно з «Методикою прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних

Зам. інв. №					
	Підпис і дата				
Інв. №					
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис
<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>					
					Арк. 54

речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті», затвердженою наказом МВС України №1000 від 29.11.2019 року. Зазначена методика використовується для прогнозування наслідків аварійних ситуацій, пов'язаних із викидом небезпечних хімічних речовин у газоподібному або рідкому стані, які під час аварії переходять у газову фазу та утворюють первинну або вторинну токсичну хмару.

Методика передбачає проведення розрахунків у приземному шарі атмосфери на висотах до 10 м над поверхнею землі, оскільки саме у цій зоні формується найбільша концентрація токсичних домішок, здатних впливати на людей, технологічне обладнання та навколишнє середовище. Особливість аміаку як небезпечної речовини полягає в тому, що при викиді він швидко випаровується, утворюючи токсичну аміачно-повітряну суміш. За певних умов така суміш може досягати не лише токсичних, але й вибухонебезпечних концентрацій.

Під час аналізу аварії враховується, що швидкість випаровування аміаку значною мірою залежить від температури навколишнього середовища, швидкості руху повітряних мас, типу підстильної поверхні та ступеня вертикальної стійкості атмосфери. З підвищенням температури повітря та ґрунту інтенсивність випаровування аміаку збільшується, що призводить до зростання концентрації токсичних парів у приземному шарі атмосфери. Водночас сильний вітер сприяє більш швидкому розсіюванню хмари, хоча й може значно збільшувати площу забруднення.

Важливим параметром прогнозування є ступінь вертикальної стійкості атмосфери. У разі інверсії вертикальне перемішування повітря практично відсутнє, що створює найбільш несприятливі умови для розсіювання токсичної хмари. При ізотермії процеси перемішування повітря є помірними, а при конвекції, навпаки, відбувається інтенсивне перемішування повітряних мас і зменшення концентрації аміаку в атмосфері. Таким чином, інверсія є найбільш небезпечним метеорологічним режимом з точки зору можливих наслідків аварії.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>KPM.XYKП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							55
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Оцінка хімічної обстановки передбачає визначення масштабів зараження, ступеня небезпеки та тривалості хімічного забруднення. Основними показниками, що характеризують масштаби аварії, є радіус району аварії, глибина поширення первинної та вторинної хмари аміаку, а також площа прогнозованої зони хімічного зараження. Первинна хмара формується безпосередньо в момент аварійного викиду внаслідок миттєвого переходу частини рідкого аміаку в газоподібний стан. Вторинна хмара виникає внаслідок подальшого випаровування аміаку з поверхні розливу.

Глибина поширення первинної хмари визначається залежно від маси аміаку, температури повітря, швидкості вітру, типу місцевості та ступеня вертикальної стійкості атмосфери. Для цього використовуються табличні значення та поправочні коефіцієнти, встановлені нормативною методикою. Аналогічно визначається глибина поширення вторинної хмари. У реальних умовах значний вплив на поширення аміаку має характер забудови території, наявність лісових масивів, рельєф місцевості та напрямок транспортних магістралей.

При аварійному прогнозуванні враховується фактична кількість аміаку в пошкодженій ділянці системи, характер його розливу, погодні умови на момент аварії та середня густина населення в зоні можливого зараження. Прогноз виконується на період до чотирьох годин після аварії, оскільки саме цей часовий проміжок є найбільш критичним з точки зору проведення аварійно-рятувальних робіт та евакуації людей.

Одним із найважливіших показників оцінки небезпеки є прогнозована кількість уражених людей. Вона визначається залежно від кількості персоналу або населення, що перебуває в зоні хімічного зараження, тривалості впливу токсичної речовини та рівня захищеності людей. Під час розрахунків враховується використання засобів індивідуального захисту органів дихання, перебування людей у захисних спорудах або виробничих приміщеннях, а також своєчасність оповіщення населення про небезпеку.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							56
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт захищеності є узагальненим показником ефективності захисних заходів. Його значення залежить від умов перебування людей у момент підходу токсичної хмари. Найбільш небезпечним є перебування на відкритій місцевості без засобів захисту, тоді як використання промислових протигазів або перебування у сховищах значно зменшує ризик ураження аміаком.

Окремо визначається тривалість хімічного забруднення території. Цей показник залежить від часу випаровування аміаку та швидкості перенесення токсичної хмари повітряними потоками. Час випаровування визначається залежно від маси розлитого аміаку, температури повітря та швидкості вітру. Зі збільшенням швидкості вітру процес випаровування прискорюється, проте одночасно зростає швидкість поширення токсичної хмари.

Аміак характеризується високою леткістю, низькою температурою кипіння та значною питомою теплотою випаровування. У разі аварійного викиду він швидко переходить у газоподібний стан, формуючи видиму білу хмару. Через меншу густину порівняно з повітрям аміак має тенденцію підніматися вгору, однак за несприятливих метеорологічних умов може накопичуватися у пониженнях рельєфу, підвальних приміщеннях, тунелях або закритих виробничих зонах.

Небезпека аміаку полягає не лише в його токсичності, а й у пожежо- та вибухонебезпечних властивостях. При певних концентраціях у повітрі аміак утворює вибухонебезпечні суміші, що суттєво ускладнює ліквідацію наслідків аварії. У зв'язку з цим під час оцінки хімічної обстановки необхідно враховувати не лише токсичний вплив речовини, але й ризик виникнення вторинних аварійних процесів, зокрема пожеж та вибухів.

Таким чином, оцінка хімічної обстановки при аваріях аміачних холодильних установок є комплексним процесом, що поєднує аналіз фізико-хімічних властивостей аміаку, метеорологічних умов, особливостей місцевості та можливого впливу токсичної хмари на персонал і населення. Результати такого прогнозування є основою для розроблення планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій, визначення меж зон можливого зараження, організації

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>KPM.XYKП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							57
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

евакуаційних заходів та забезпечення необхідного рівня техногенної й екологічної безпеки підприємства.

Основними показниками, що визначають масштаб хімічного забруднення, є:

- радіус RA, (км) та площа SA (км<sup>2</sup>) району аварії;
- глибина Г1 (км) та площа S1 (км<sup>2</sup>) поширення первинної хмари НХР;
- глибина Г2 (км) та площа S2 (км<sup>2</sup>) поширення вторинної хмари НХР.

Основним показником, що характеризує ступінь небезпеки хімічного забруднення, є прогнозована кількість уражених, що опинилися в ЗХЗ.

Кількість уражених серед виробничого персоналу об'єкта, де сталася аварія, та населення, яке мешкає поблизу цього об'єкта, визначається відповідно до кількості та часу знаходження людей у ЗХЗ, їх захищеності від дії НХР.

Кількість людей, які опинилися в ЗХЗ, розраховується або шляхом підсумовування кількості виробничого персоналу (населення), який знаходиться на окремих виробничих ділянках (в житлових кварталах, населених пунктах), що піддалися дії НХР, або шляхом множення середньої густини виробничого персоналу (населення), що знаходиться на території об'єкта (населеного пункту), на площу зараженої території.

Оцінка хімічної обстановки на потенційно небезпечних об'єктах проводиться при завчасному плануванні заходів щодо захисту робітників, службовців, населення від ОХВ та вжиття заходів щодо порятунку людей, які можуть опинитися в зонах хімічного зараження безпосередньо після аварії.

Довгострокове прогнозування здійснюється для визначення можливих масштабів аварій, сил і засобів, які необхідно буде залучити для локалізації та ліквідації їх наслідків, складання планів робіт з ліквідації причин аварій та інших довгострокових (довідкових) матеріалів.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							58
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5.1 – вихідні данні для довгострокового прогнозування

кількість НХР	3,44 т
температура аміаку	25 °С
швидкість вітру в приземному шарі	1 м/с
температура повітря	20°С
ступінь вертикальної стійкості повітря	інверсія
напрямок вітру	не враховується
середня щільність населення м. Дніпро	2394
кут розповсюдження хмари забрудненого повітря для ЗМХЗ	360°
для ПЗХЗ кут визначається відповідно до розрахункових даних	

Проектом прийняті технічні рішення для скорочення прогнозованої глибини поширення хмари зараженого повітря з вражаючими концентраціями в разі аварії з розгерметизацією АХС, які полягають в організації обвалування технологічного обладнання, облаштуванні систем вентиляції, систем виявлення та оповіщення.

### Методика довгострокового прогнозування хімічної обстановки при аваріях АХУ з викидом аміаку в атмосферу

Визначаємо радіус району аварії  $R_A$  (радіус кола, що визначає зовнішні кордони району аварії) для зріджених газів із низькою температурою кипіння, що зберігаються в технологічних ємностях об'ємом до 100 т

$$R_A = 0,5 \text{ км}$$

Визначити глибину (км) поширення зараженої хмари

Глибина поширення первинної хмари НХР  $\Gamma_1$  з урахуванням метеорологічних та топографічних умов, впливу температури повітря на кількість НХР, що переходить у первинну хмару, визначається за формулою:

$$\Gamma_1 = \Gamma_{T1} \cdot K_{t1} \cdot K_k \cdot K_M$$

$$\Gamma_1 = 0,76 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,4 = 0,304 \text{ км}$$

де:  $\Gamma_{T1}$  - табличне значення глибини поширення первинної хмари (км) Таблиця 3.5.2;

$K_{t1}$  - поправний коефіцієнт, що враховує вплив температури повітря на

Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. №

						<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							59
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		



Таблиця 3.5.3 – значення поправного коефіцієнта  $K_{t1}$ , що враховує вплив температури повітря на глибину поширення первинної хмари НХР

Назва НХР	Температура повітря, оС					
	-20	-10	0	+10	+20	+30
Аміак (ізотермічний)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
Аміак (під тиском)	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,4

Таблиця 3.5.4 – значення коефіцієнта пропорційності  $K_k$  залежно від ступеня вертикальної стійкості повітря в приземному шарі

Вертикальна стійкість повітря	Величина відношення $Q_3 / Q_m$								
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	2	4	6	8
Конвекція	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,4	1,9	2,4	2,7
Ізотермія	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	2,2	2,8	3,3
Інверсія	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,6	2,6	3,4	4,0

Таблиця 3.5.5 – значення коефіцієнта впливу місцевості  $K_m$

Значення комплексного показника $K_p$	Стан атмосфери в приземному шарі повітря		
	конвекція	ізотермія	інверсія
0,05	1,0	1,0	1,0
0,1	0,8	0,8	0,9
0,2	0,5	0,6	0,6
0,3	0,4	0,5	0,5
0,4	0,3	0,4	0,5
0,5	0,3	0,4	0,4
0,6	0,3	0,3	0,4
0,7	0,2	0,3	0,4
0,8	0,2	0,3	0,4
0,9	0,2	0,2	0,3
1,0	0,1	0,2	0,3
1,1	0,1	0,2	0,2
1,2	0,1	0,1	0,1
1,3	0,1	0,1	0,1
1,4	0,05	0,05	0,05
1,5	0,05	0,05	0,05
1,6	0,05	0,05	0,05

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №						
			Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25

Арк.

61



$K_K$  - коефіцієнт пропорційності, що враховує розбіжності заданої маси НХР з типовими масами НХР, зазначені в в Таблиці 3.5.7.  
Визначення коефіцієнта  $K_K$  здійснюється так, як і у разі поширення первинної хмари НХР;

$K_M$  - коефіцієнт впливу місцевості. Визначення коефіцієнта  $K_M$  здійснюється так, як і у разі поширення первинної хмари НХР.

Таблиця 3.5.7 – значення глибини поширення вторинної хмари для деяких НХР ГТ<sub>2</sub> (км)

Маса НХР (т)	Інверсія, швидкість вітру (м/с)				Конвекція, швидкість вітру (м/с)				Ізотермія, швидкість вітру (м/с)				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	10
Аміак													
1	0,37	0,33	0,31	0,30	0,12	0,12	0,12	0,12	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19
10	1,52	1,37	1,29	1,24	0,24	0,35	0,35	0,35	0,75	0,71	0,69	0,68	0,64
30	2,98	2,69	2,53	2,43	0,40	0,59	0,59	0,59	1,34	1,28	1,24	1,22	1,14

Таблиця 3.5.8 – значення поправного коефіцієнта  $K_{t2}$ , що враховує вплив температури повітря на глибину поширення вторинної хмари НХР

Назва НХР	Температура повітря, °С					
	-20	-10	0	+10	+20	+30
Аміак (ізотермічний)	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
Аміак (під тиском)	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1

Таблиця 3.5.9 – значення кута  $\varphi$  залежно від ступеня вертикальної стійкості повітря в приземному шарі та довірчої імовірності  $P_T$

Вид хмари НХР та час випаровування	Стан атмосфери у приземному шарі повітря	Значення РГ		
		0,5	0,75	0,9
Первинна хмара НХР	інверсія	9	15	20
	ізотермія	12	20	25
	конвекція	15	25	30
Вторинна хмара НХР, час випаровування 2-6 год	інверсія	12	20	30
	ізотермія	15	25	40
	конвекція	20	35	50
Вторинна хмара НХР, час випаровування 6-12 год	ізотермія	22	37	52
Вторинна хмара НХР, час випаровування 12-24 год		30	50	70

Площа первинної (вторинної) хмари НХР  $S1(2)$  (км<sup>2</sup>) визначається за формулою

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. №

$$S_{1(2)} = \frac{(\Gamma_{1(2)} + R_A)^2 \cdot \varphi}{60}$$

$$S_2 = \frac{(\Gamma_2 + R_A)^2 \cdot \varphi}{60} = \frac{(0,332 + 0,5)^2 \cdot 30}{60} = 0,346 \text{ км}^2$$

де:  $\Gamma_{1(2)}$  -глибина поширення первинної (вторинної) хмари НХР (км);

$R_A$  -радіус району аварії (км);

$\varphi$  - половина кута сектора (град), у межах якого можливе поширення хмари НХР із заданою довірчою імовірністю  $P_\Gamma$ . Значення кута  $\varphi$  (град) залежно від ступеня вертикальної стійкості повітря в приземному шарі та довірчої імовірності  $P_\Gamma$  наведені в Таблиця 3.5.9. Зображення кута сектора наведено на Схемі поширення первинної та вторинної хмари НХР. У разі довгострокового прогнозування  $P_\Gamma = 0,9$

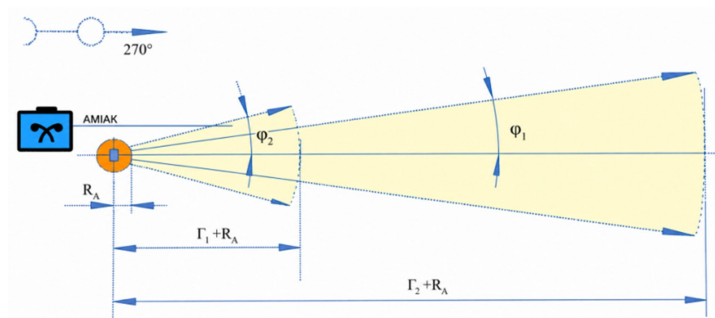
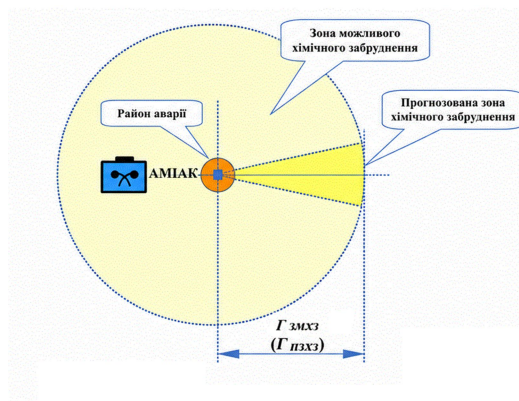


Схема поширення первинної та вторинної хмари НХР



Зони можливого та прогнозованого хімічного забруднення за результатами довгострокового прогнозування

Площа прогнозованої зони хімічного забруднення СПЗХЗ (км<sup>2</sup>) визначається залежно від значень радіусу аварії  $R_A$ , глибини поширення

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25

Г1(2) первинної (вторинної) хмари та відповідних кутів сектору поширення цих хмар  $\varphi_1(2)$ .

Якщо  $\Gamma_1 < \Gamma_2$ :

за умов  $\varphi_1 < \varphi_2$

$$S_{\text{ПЗХЗ}} = \pi \cdot \left( R_A^2 + \frac{(\Gamma_2^2 - R_A^2) \cdot \varphi_2}{180} \right)$$

за умов  $\varphi_2 < \varphi_1$

$$S_{\text{ПЗХЗ}} = \pi \cdot \left( R_A^2 + \frac{(\Gamma_1^2 - R_A^2) \cdot \varphi_1}{180} \right) + \left( \frac{(\Gamma_1^2 - \Gamma_2^2) \cdot \varphi_2}{180} \right)$$

Якщо  $\Gamma_2 < \Gamma_1$ :

за умов  $\varphi_1 < \varphi_2$

$$S_{\text{ПЗХЗ}} = \pi \cdot \left( R_A^2 + \frac{(\Gamma_{21}^2 - R_A^2) \cdot \varphi_{21}}{180} \right) + \left( \frac{(\Gamma_2^2 - \Gamma_1^2) \cdot \varphi_2}{180} \right)$$

за умов  $\varphi_2 < \varphi_1$

$$S_{\text{ПЗХЗ}} = \pi \cdot \left( R_A^2 + \frac{(\Gamma_1^2 - R_A^2) \cdot \varphi_1}{180} \right)$$

Основним показником, що характеризує ступінь небезпеки хімічного забруднення, є прогнозована кількість уражених, що опинилися в ЗХЗ.

Кількість уражених серед виробничого персоналу об'єкта, де сталася аварія, та населення, яке мешкає поблизу цього об'єкта, визначається відповідно до кількості та часу знаходження людей у ЗХЗ, їх захищеності від дії НХР.

Кількість людей, які опинилися в ЗХЗ, розраховується або шляхом підсумовування кількості виробничого персоналу (населення), який знаходиться на окремих виробничих ділянках (в житлових кварталах, населених пунктах), що піддалися дії НХР, або шляхом множення середньої густини виробничого

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							65
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

персоналу (населення), що знаходиться на території об'єкта (населеного пункту), на площу зараженої території.

Відповідно кількість уражених  $B$  (осіб) визначається за формулами

$$B = L \cdot (1 - K_3)$$

$$\text{або } B = \Delta \cdot S_{об} \cdot (1 - K_3)$$

- де  $L$  - кількість виробничого персоналу (населення) в осередку ураження (осіб);
- $K_3$  - коефіцієнт захищеності виробничого персоналу від вражаючої дії НХР. Коефіцієнт захищеності виробничого персоналу  $K_3$  від дії НХР (по хлору) зазначено в Таблиці 3.5.10. Коефіцієнт захищеності міського та сільського населення  $K_3$  від дії НХР зазначено в Таблиці 3.5.11;
- $\Delta$  - середня щільність розміщення виробничого персоналу (населення) на території об'єкта (населеного пункту) (осіб/км<sup>2</sup>);
- $S_{об}$  - площа території об'єкта (населеного пункту), що зазнала ураження (км<sup>2</sup>).

Значення коефіцієнта захищеності  $K_3$  залежить від місця перебування виробничого персоналу (населення) у момент підходу хмари забрудненого повітря до об'єкта (населеного пункту) та захисних властивостей укриття і засобів індивідуального захисту, що використовуються.

Коефіцієнт захищеності  $K_3$  виробничого персоналу (населення) визначається за формулою

$$K_3 = q_1 K_{31} + q_2 K_{32} + q_3 K_{33} + q_{14} K_{34} + \dots + q_i K_{3i}$$

де  $q_{(1,2,3...i)}$  - частка виробничого персоналу (населення), що знаходиться в умовах перебування 1, 2, 3, ... i, наприклад,

- де 1 - виробничий персонал (населення), що знаходиться на відкритій місцевості;
- 2 - виробничий персонал (населення), який забезпечено протигазами;

Зам. інв. №						Арк.
Підпис і дата						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25
Інв. №	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата

- 3 - виробничий персонал (населення), що знаходиться в укриттях;
- 4 - виробничий персонал, що знаходиться у виробничих будівлях тощо.

Під час розрахунку враховуються лише ті показники, що мають місце, а за потреби додаються додаткові.

Для визначення кількості уражених від первинної хмари НХР використовується значення коефіцієнта захищеності на час перебування в осередку ураження 15 та 30 хв, наведені в Таблиці 3.5.11 до цієї Методики.

Час підходу хмари НХР до об'єкта  $t$  (год), що знаходиться в межах зон розповсюдження первинної Г1 та/або вторинної Г2 хмар НХР, залежить від швидкості перенесення хмари повітряними потоками та визначається за формулою

$$t = \frac{x}{v}$$

Таблиця 3.5.10 – коефіцієнт захищеності виробничого персоналу  $K_z$  від дії НХР (хлору)

Місцезнаходження, засоби захисту, що застосовуються	Час перебування, год				
	0,25	0,5	1	2	3-4
відкрито на місцевості	0	0	0	0	0
у транспорті	0,95	0,75	0,41	-	-
у виробничих приміщеннях з кратністю повітрообміну:					
0,5	0,97	0,87	0,68	0,38	0,09
1,0	0,67	0,52	0,30	0,13	0
2,0	0,18	0,08	0,04	0	0
у сховищах: з режимом регенерації повітря	1	1	1	1	1
без режиму регенерації повітря	1	1	1	1	0
в засобах індивідуального захисту органів дихання (промислових протигазах)	0,95	0,8	0,5	0	0

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. №

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							<b>67</b>
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5.11 – коефіцієнт захищеності міського та сільського населення  $K_3$  від дії НХР

Час доби, год	Міське населення				
	Час, що пройшов з моменту виникнення аварії				
	15 хв	30 хв	1 год	2 год	3-4 год
А. Населення не було оповіщено про небезпеку					
1-6	0,95	0,89	0,76	0,36	0,09
6-7	0,84	0,72	0,64	0,29	0,07
7-10	0,64	0,54	0,35	0,13	0,02
10-13	0,69	0,58	0,37	0,15	0,03
13-15	0,72	0,64	0,47	0,20	0,04
15-17	0,68	0,58	0,37	0,15	0,03
17-19	0,69	0,62	0,47	0,19	0,04
19-1	0,88	0,82	0,67	0,30	0,07
Б. Населення оповіщено про небезпеку					
1-6	0,95	0,89	0,20	0,36	0,09
6-7	0,93	0,87	0,74	0,35	0,10
7-10	0,78	0,68	0,49	0,22	0,06
10-13	0,79	0,67	0,47	0,21	0,04
13-15	0,83	0,74	0,56	0,25	0,05
15-17	0,79	0,69	0,49	0,22	0,04
17-19	0,86	0,78	0,63	0,28	0,06
19-1	0,91	0,85	0,71	0,34	0,09

Таблиця 3.5.12 – час випаровування НХР за швидкості повітря 1 м/с

Назва НХР	Маса НХР (т)	Температура повітря, °С						
		-30	-20	-10	0	+ 10	+ 20	+ 30
Аміак	50*	6,8 год	4,8 год	3,4 год	2,5 год	1,9 год	1,5 год	1,1 год
	100	4,2 доби	2,9 доби	2,1 доби	1,5 доби	1,2 доби	21,4 год	16,8 год
	500	4,7 доби	3,3 доби	2,3 доби	1,7 доби	1,3 доби	24 год	18,7 год
	2000	5,1 доби	3,6 доби	2,6 доби	1,9 доби	1,4 доби	1,1 доби	20,7 год
	10 000	5,8 доби	4 доби	2,9 доби	2,1 доби	1,6 доби	1,2 доби	23,1 год
	30 000	6,2 доби	4,3 доби	3,1 доби	2,3 доби	1,7 доби	1,3 доби	1 доба

Таблиця 3.5.13 – значення коефіцієнта  $K_u$  залежно від швидкості вітру

Швидкість вітру (м/с)	1	2	3	4	5	6
$K_u$	1,0	0,70	0,55	0,43	0,37	0,32

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. №

Оцінка хімічної обстановки передбачає визначення масштабів та ступеня небезпеки хімічного забруднення.

**За результатами прогнозування отримані такі дані:**

- глибина Г1 (км) поширення первинної хмари НХР – 0,304 км;
- глибина Г2 (км) поширення вторинної хмари НХР – 0,332 км;
- глибина зони хімічного зараження (з урахуванням типу місцевості) – до 0,832 км;
- площа зони можливого хімічного забруднення - до 2,174 км<sup>2</sup>.
- кількість населення, що може опинитися у прогнозованій зоні хімічного зараження, згідно даних довгострокового прогнозування - до 331 осіб.

Згідно з прогнозом відповідно до затверджених методик, час підходу зараженої хмари до підрозділів об'єкта складе від 0,5 хв.

Час підходу аміачної хмари до інших промислових об'єктів, житлової зони та транспортних магістралей за прогнозом – від 8,1 хв. Докладні дані щодо часу підходу зараженої хмари до об'єктів, що знаходяться в потенційно небезпечній зоні, та умовний поділ прилеглої території на сектори представлено на Ситуаційному плані – дивись лист 3.

Оскільки аварій прогнозованого рівня більш ніж за 100 років використання амі-аку як робочої речовини холодильних систем не зареєстровано, адекватність одержуваних результатів прогнозу за затвердженою "Методикою..." можливих наслідків не підтверджено.

**3.6. Прогнозування рівня вибухонебезпеки обладнання АХУ**

Прогнозування рівня вибухонебезпеки блоків АХУ виконано на основі вказівок НПАОП 0.00-1.41-88 "Загальні правила вибухобезпеки для вибухопожежонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв", "Методики визначення рівня вибухонебезпечності блоків систем холодопостачання щодо відносного значення енергетичного потенціалу", ДСТУ

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							69
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Б В.1.1-36:2016 "Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою".

Методика, у відповідності до якої були виконані розрахунки рівня вибухонебезпечності холодильної системи підприємства. Методика розроблена для вибухонебезпечного обладнання систем холодопостачання, в результаті розгерметизації яких можливий виток аміаку з наступною небезпекою вибуху при утворенні пароповітряної суміші з об'ємним вмістом аміаку від 15 до 28 % (107-200 мг/л).

У методиці прийняті позначення і використана така термінологія:

ПГФ – парогазова фаза;

РФ – рідка фаза;

Е – загальний енергетичний потенціал вибухонебезпеки обладнання систем холодопостачання (повної енергії, що надійшла у навколишнє середовище при аварійній розгерметизації обладнання), кДж;

Е1', Е2', Е1'', Е2'', Е3'', Е4'' – складові загального енергетичного потенціалу вибухонебезпеки (верхній індекс ' означає парову фазу, верхній індекс '' – рідку фазу);

Е1' – сума енергій адіабатичного розширення і згоряння пари аміаку, що знаходяться безпосередньо в аварійному обладнанні у разі розгерметизації;

Е2' – енергія згоряння ПГФ, що надійшла від суміжного обладнання за час  $\tau$  від початку розгерметизації системи до повного відключення відсікаючою арматурою аварійної ділянки:  $\tau=5$  хв. (300 с) для ручного відключення та  $\tau=2$  хв. (120 с) для автоматичного відключення запірними пристроями. Час зупинки холодильної установки системою аварійного захисту АХУ в розрахунку прийнято  $\tau=2$  хв. (120 с);

Е1'' – енергія згоряння ПРФ, що утворюється за рахунок енергії перегріву РФ розгерметизованої ділянки та РФ, що надійшла від суміжного обладнання за час  $\tau$ ;

Е2'' – енергія згоряння ПРФ, що утворюється із РФ за рахунок тепла екзотермічних реакцій, що не припиняються при аварійній розгерметизації. В

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							70
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

аміачних системах холодопостачання відсутні будь-які екзотермічні реакції, тому  $E2''=0$ ;

$E3''$  – енергія згоряння ПРФ, що утворюється з РФ за рахунок теплоприпливу від зовнішніх теплоносіїв. У системах холодопостачання з безпосереднім охолодженням теплоприпливи від зовнішнього теплоносія незначні, ними можна знехтувати, а в системах з проміжним холодоносієм надходження його в обладнання при аварійній розгерметизації автоматично припиняється, тому  $E3''=0$ ;

$E4''$  – енергія згоряння ПРФ, що утворюється з пролитої на тверду поверхню РФ за рахунок тепловіддачі навколишнього середовища. Методика виходить з того, що протягом перших 5 хвилин з моменту виникнення аварії витікає максимальна кількість пари та рідкого аміаку, як з розгерметизованої ділянки, так і суміжного обладнання. При цьому відбувається інтенсивне випаровування розливої рідини в результаті тепловіддачі від ще теплої поверхні підлоги і від повітря до поверхні розливу, що супроводжується швидким охолодженням як рідкого аміаку, так і поверхні підлоги (піддону) за рахунок великої питомої холодопродуктивності РФ аміаку. Час випаровування рідини прийнято не більше 3600 с.

Таким чином, загальний енергетичний потенціал вибухонебезпечності обладнання холодильної системи розраховувався за знайденими складовими згідно формули:

$$E = E1' + E2' + E1'' + E4''$$

Під час розрахунку загального енергетичного потенціалу вибухонебезпечності обирався найбільш несприятливий варіант аварії, коли у вибуху може брати участь максимально можлива кількість пари аміаку. Розрахункова кількість рідкого аміаку, яка може перебувати в апараті (посудинах) холодильної системи, згідно з методикою, приймалася відповідно до вказівок діючих ПБіБЕ АХУ або за робочим заповненням, зазначеним у паспортах заводів-виробників обладнання.

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							71
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Визначивши загальний енергетичний потенціал вибухонебезпечності обладнання АХУ, розраховувалася загальна маса горючої пари вибухонебезпечної парогазової хмари, що приведена до умовної одиниці – питомої енергії згоряння ( $m$ , кг), а також визначалося відносне значення енергетичного потенціалу вибухонебезпечності розгерметизованої ділянки (вузла) системи холодопостачання Qв. За цими даними, відповідно до використовуваної методики, здійснювалася класифікація (категорування) вузлів холодильної установки та системи в цілому.

Фактичний характер розподілу пари аміаку в утвореній хмарі обумовлює участь не всієї пари аміаку в реальному вибуху, тому в розрахунок вводився коефіцієнт участі маси пари аміаку у вибуху та розраховувалася маса пари, що бере участь у ньому,  $m'$ , кг.

Отримані за результатами розрахунку значення дозволяють визначити радіус зони руйнування у разі можливого вибуху суміші пари аміаку з повітрям.

Оцінку рівня вибухонебезпечності обладнання аміачної холодильної установки було виконано згідно з вищеписаною методикою для найбільш вибухонебезпечних апаратів, посудин та агрегатів холодильної системи холодопостачання холодильника.

Вихідні дані, припущення та обмеження, які були прийняті під час проведення розрахунків:

розрахунок проведено для першого етапу

температура конденсації холодильного агента –  $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

температура кипіння холодильного агента – мінус  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$  (система безпосереднього охолодження камер зберігання замороженої продукції), мінус  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (система охолодження проміжного холодоносія для забезпечення роботи система охолодження камер зберігання охолодженої продукції на рампі та у підвальному приміщенні);

регламентний тиск у системі в робочому режимі:

сторона високого тиску (тиск конденсації) - 11,1 атн.;

сторона низького тиску – 1,08 атн. (система  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 2,91 атн. (система  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ );

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>KPM.XYKП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							72
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

тиск у системі в режимі відтаювання інею з поверхні приладів охолодження - 7 атн.;

заповнення рідким агентом посудин, апаратів, трубопроводів:

мастилозбірників, мастилопосудин - 0% геометричної ємності;

випарних конденсаторів – за даними виробника;

лінійних ресиверів – 50% геометричної ємності;

циркуляційних ресиверів – в залежності від встановленого верхнього аварійного рівня;

повітроохолоджувачів – 70% геометричної ємності;

парових трубопроводів – 0% геометричної ємності;

рідинних трубопроводів – 100% геометричної ємності;

трубопроводів поєднаного відсмоктування пари та зливу рідкого аміаку – за густиною парорідинної суміші з урахуванням кратності циркуляції.

на систему охолодження з температурою кипіння  $t_0 = \text{мінус } 32^{\circ}\text{C}$  в робочому режимі працює один компресорний агрегат SP2 VE-6D(P);

на систему охолодження з температурою кипіння  $t_0 = \text{мінус } 10^{\circ}\text{C}$  в робочому режимі працює один компресорний агрегат M LA-5B;

на кожен систему охолодження з окремою температурою кипіння у робочому режимі підключено по одному циркуляційному ресиверу;

площа витoku PФ у компресорному цеху, холодильних камерах визначалася згідно з рекомендаціями, для обладнання конденсаторного відділення – з урахуванням наявності обвалування, рекомендацій;

розрахунок кількості ПРФ, що надійшла з суміжних систем до аварійної ділянки для випарних конденсаторів і лінійних ресиверів враховував дію (роботу) компресорного обладнання. При цьому передбачалося, що викид аміаку з нагнітальних трубопроводів буде відбуватися в період з максимальним навантаженням;

розрахунок кількості аміаку, що надійшов, по суміжних парових трубопроводах до аварійної ділянки від апаратів, усередині яких знаходиться

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
							73
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

ПРФ і РФ, враховував викид пари, що утворилася в них за рахунок різкого падіння тиску до рівня атмосферного;

передбачалося, що у разі аварії нагнітальних пристроїв спрацьовують зворотні клапани, розташовані за компресорами і насосами по ходу аміаку, при цьому виток з боку нагнітання не відбувається;

швидкості адіабатного витоку ПРФ із суміжного обладнання обмежувалася значеннями критичної швидкості витоку газу;

під час розгляду аварії пластинчастого випарника і випарних конденсаторів умовно передбачалося, що вихід аміаку стався на ділянці, що не контактує з водою технологічного призначення (найнебезпечніший сценарій розвитку аварії, при якому не відбувається нейтралізація холодоагенту водою);

рівень вибухонебезпечності дренажного ресивера визначено для випадку тимчасового зберігання рідкого аміаку та його відсікання від системи.

Результати розрахунків прогнозування рівня вибухонебезпечності обладнання аміачної холодильної установки підприємства представлені у таблиці 3.6.1.

Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. №						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	Арк.
			Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	

Таблиця 3.6.1 – Характеристики максимальних рівнів вибухонебезпечності холодильного обладнання АХУ

№ п/п	Найменування аварії	E·10 <sup>-6</sup> , кДж	Q <sub>в</sub>	m, кг	m', кг	Радіус зони руйнування				
						R <sub>1</sub> , м	R <sub>2</sub> , м	R <sub>3</sub> , м	R <sub>4</sub> , м	R <sub>5</sub> , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Розгерметизація конденсатора C010, C020, C030, C040, C050*	48,16	22	1047	104	3,27	4,82	8,43	24,11	48,27
2	Розгерметизація горизонтального лінійного ресивера R101, R102	20,43	10,6	444	116	3,47	5,11	8,95	25,57	51,15
3	Розгерметизація переохолоджувача H210	1,84	4,7	40	10,5	0,79	1,16	2,04	5,82	11,64
4	Розгерметизація технологічного блоку циркуляційний ресивер – аміачні насоси R301	0,9	3,7	19,5	5,15	0,56	0,83	1,45	4,15	8,31
5	Розгерметизація технологічного блоку циркуляційний ресивер – аміачні насоси R401	3,1	5,7	67,4	17,72	1,07	1,57	2,76	7,87	15,75
6	Розгерметизація технологічного блоку циркуляційний ресивер – аміачні насоси R501	3,0	5,6	65,4	17,21	1,05	1,55	2,71	7,73	15,47
7	Розгерметизація технологічного блоку циркуляційний ресивер R201 – пластинчасті випарники H220, H230	5,54	10,7	120	31,7	1,54	2,27	3,97	11,33	22,66
8	Розгерметизація горизонтального дренажного ресивера R601	14,27	9,4	310	81,6	2,81	4,16	7,27	20,78	41,57
9	Розгерметизація горизонтального дренажного ресивера R602, R603	10,67	8,53	232	61	2,34	3,46	6,05	17,27	34,55
10	Конструктивна поломка компресорного агрегату M LA-5B (K011, K012, K013)	23,7	11,13	515	135	3,77	5,56	9,73	27,82	55,64
11	Конструктивна поломка двоступеневого компресорного агрегату SP2 VE-6D (K021, K022, K023)	25,9	11,46	563	148	3,97	5,86	10,25	29,3	58,6
12	Конструктивна поломка двоступеневого компресорного агрегату SP2 ZE-6D (K031, K032, K033, K035)	25,9	11,46	563	148	3,97	5,86	10,25	29,3	58,6
13	Конструктивна поломка двоступеневого компресорного агрегату SP2 ZE-6D (K034)	28,02	11,77	609	160	4,17	6,14	10,75	30,72	61,45
14	Конструктивна поломка чиллера (IWC01, IWC02, IWC03)	23,7	11,13	515	135	3,77	5,56	9,73	27,82	55,64
15	Камера холодильного складу	3,4	7,2	75	37,5	1,71	2,52	4,42	12,63	25,25

Примітка:

1. R1 - радіус зони 100% руйнування; R2 - радіус зони 50% руйнування; R3 - радіус зони сильних руйнувань; R4 - радіус зони часткових пошкоджень; R5 - радіус зони легких пошкоджень (вибите віконне скло); радіуси зон руйнування розраховані за величиною m';  
E - загальний енергетичний потенціал вибухонебезпечності; Q<sub>в</sub> - відносне значення енергетичного потенціалу вибухонебезпечності;  
m' - маса пари аміаку, яка бере участь у вибуху; m - загальна маса горючої пари вибухонебезпечної парової хмари, приведена до умовної одиниці - питомої енергії згорання.
2. \* - вибух аміачно-повітряної суміші на відкритому просторі не прогнозується.



$R_s > 10^{-5}$  - для соціального ризику загибелі понад 10 чоловік

протягом одного року у виділеному регіоні за межами санітарно-захисної зони підприємства, яке має у своєму складі хоча б один об'єкт підвищеної небезпеки (місті, селищі, селі, на території підприємств і організацій).

Як критерій соціального ризику може використовуватися також очікувана кількість загиблих у виділеному регіоні за межами санітарно-захисної зони підприємства (місті, селищі, селі, на території підприємств і організацій, що знаходяться у промисловій зоні тощо) на 1000 жителів  $MD > 10^{-3}$ .

В усіх випадках ризик аварій на об'єкті підвищеної небезпеки для населення рекомендується вважати абсолютно прийнятним при рівнях:

- територіального ризику  $R_t \geq 10^{-7}$  ;
- індивідуального ризику  $R_i \geq 10^{-8}$  ;
- соціального ризику  $R_s \geq 10^{-7}$  чи  $D \leq 10^{-5}$ .

Місцеві органи виконавчої влади з урахуванням особливостей регіону можуть встановлювати інші значення верхнього та нижнього рівнів ризику. Значення верхнього рівня кожного з перерахованих вище критеріїв прийнятного ризику можуть встановлюватися в 100 разів нижчі від їх аналогів, які пов'язані з небезпекою повсякденного життя та ризиком проживання в регіоні (дорожньо-транспортні пригоди, нещасні випадки в побуті, пожежі, вибухи газу тощо).

В усіх випадках прийнятний ризик, що встановлюється органами виконавчої влади у регіонах, не повинен перевищувати рівнів, установлених цією Методикою.

Для прийняття рішень щодо дозволів на експлуатацію, будівництво чи реконструкцію об'єктів підвищеної небезпеки, може використовуватися кожний з перерахованих вище критеріїв прийнятного ризику (територіальний, індивідуальний чи соціальний) чи їх сукупність, в залежності від специфіки об'єкта.

Для інших об'єктів "турботи" ризиками можуть бути:

Зам. Інв. №
Підпис і дата
Інв. №

						<i>KPM.XUKP.1.51-03.1.25</i>	Арк. 77
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата		





пожежі, вибуху" аміачно-повітряна суміш характеризується уражаючим фактором – "хімічне отруєння, хімічний опік". Усі три відзначених уражаючих фактори можуть привести до загибелі людей, нанесення їм травм, каліцтв та ін.

### 3.8.1 Прогнозування наслідків (територіальний ризик) пожежі типу "пожежа-спалах"

Сценарій формування наслідків аварії на аміачній холодильній установці, які аналізуються в цьому розділі, виглядає таким:

- надходження в навколишній простір рідкої фази аміаку, її розтікання в межах компресорного цеху, камер холодильної обробки, за їх межами;
- випар аміаку, утворення й поширення повітряно-аміачної хмари;
- займання повітряно-аміачної хмари з наступним згорянням у режимі пожежі – спалаху (вогненна куля);
- тепловий вплив "вогненної кулі" на технологічне устаткування, приміщення компресорного цеху, будівлі й спорудження інших ділянок підприємства, сусідніх об'єктів та житлової зони (особливо необхідно виділити тут вплив теплового випромінювання на людей);
- подальше розширення масштабів пожежі.

Окремі аспекти в прийнятті необхідних для прогнозування наслідків аварії допущень у даному розділі суперечать допущенням, зробленим у попередньому розділі. Там було прийнято, що уся маса розлитого аміаку випариться за деякий час, відповідно виникне зона можливого хімічного забруднення, в яку, знову ж відповідно, попаде велика кількість людей. Наявність системи вентиляції компресорного цеху, висока температура випаровування аміаку, наявність напрямків та інші аспекти суперечать таким допущенням, що повітряно-аміачна суміш, як хмара довільної концентрації, безперешкодно поширюється з "джерела" аварії в навколишнє середовище. Тому, у рамках цього параграфу, приймемо, що повітряно-аміачна хмара може утворитися в приміщеннях компресорного цеху, камерах холодильної обробки за рахунок випаровування в атмосферу повітря розлитого аміаку до досягнення мінімальної концентрації можливого займання

Інв. №	Підпис і дата	Зам. Інв. №							Арк.
			КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата				

(15% об.). Після займання може реалізуватися "пожежа-спалах", термін "вогненна куля" тут не відображає суті, оскільки він, у більшій мірі, характерний для спалаху повітряноуглецеводневої суміші (хмари) у відкритому просторі (з висотою підняття над землею). Горіння-спалах повітряно-аміачної суміші характеризується двома уражаючими факторами – тепловим випромінюванням і надлишковим тиском з ударною хвилею. Прогнозування наслідків аварії у попередньому параграфі не відповідає загальним вимогам щодо необхідного ймовірнісного характеру такого прогнозування.

Виходячи з відомих термодинамічних властивостей аміаку, вважаємо, що максимальна інтенсивність надходження пари аміаку в навколишнє повітря відбувається протягом перших 5÷10 хвилин із моменту розгерметизації холодильної установки, наступного розливу аміаку з утворенням "дзеркала випаровування". При цьому вважаємо (погіршення реальної ситуації), що з холодильної системи витікає практично увесь аміак. У такому випадку інтенсивне випаровування розлитої рідини аміаку відбувається у результаті тепловіддачі від більш теплої поверхні підлоги компресорного цеху, його приямків, а також теплоприпливів від повітря до поверхні розливу. Рідкий аміак через випаровування швидко охолоджується (захолюється), при цьому інтенсивність (швидкість) випаровування різко знижується. У зв'язку з цим час  $\tau_k$  контакту й випаровування рідкого аміаку приймаємо рівним 10 хвилинам = 600 сек. Маса аміаку, що перейшов у парову фазу, буде дорівнювати сумі  $(m_1+m_2)$  мас, де маса  $m_1$  – отримана за рахунок теплоти від поверхні підлоги (знизу),  $m_2$ , – отримана за рахунок теплоти від атмосферного повітря (зверху).

Коефіцієнт теплової активності поверхні підлоги (піддона)  $\varepsilon$ , ккал/(м<sup>2</sup>·°С·час<sup>1/2</sup>) обчислюємо по формулі

$$\varepsilon = (\lambda \cdot c_p \cdot \rho)^{1/2},$$

де  $\lambda=1,1$  ккал/(м·град·час) – теплопровідність матеріалу підлоги компресорного цеху (бетонна стяжка);

Зам. Інв. №
Підпис і дата
Інв. №

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата		81

$c_p = 0,27$  ккал/(кг·град) – питома ізобарна теплоємність матеріалу підлоги компресорного цеху (бетонна стяжка);

$\rho = 2300$  кг/м<sup>3</sup> – густина матеріалу підлоги компресорного цеху (бетонна стяжка).

У результаті розрахунку одержуємо для  $\varepsilon$  величину, рівну 26,14 ккал/(м<sup>2</sup>·град·час<sup>1/2</sup>) Масу рідкого аміаку, що перейде у парову фазу за рахунок теплоти від підлоги компресорного цеху, обчислюємо за формулою

$$m_1 = \frac{0,5 \cdot 1,13 \cdot t_k \cdot \varepsilon \cdot F_k \cdot (\tau_k)^{1/2}}{r},$$

де:  $t_k = 20^\circ\text{C}$  – температура поверхні підлоги компресорного цеху, прямиків;

$F_k \cong 94,0 + (2,0 \cdot \sqrt{94,0} \cdot 2,3) = 138,6$  м<sup>2</sup> – площа поверхні прямиків компресорного цеху, що можуть бути залиті рідким аміаком і контактувати шляхом теплообміну з аміаком;

$V = 327$  ккал/кг – теплота випаровування аміаку при тиску 1 атм. (нормальні умови).

У результаті розрахунків одержуємо  $m_1 = 3066,7$  кг.

Масу аміаку, що випарився в результаті надходження теплоти від повітря компресорного цеху, розрахуємо по емпіричній формулі

$$m_2 = 10^{-6} \cdot \eta \cdot P_n \cdot M^{1/2},$$

де:  $P_n = 100$  кПа – тиск (у кПа) насиченої пари аміаку при температурі кипіння, тобто при температурі нормального кипіння, рівної мінус 33,35 °С;

$M = 17,03$  г/моль – молекулярна маса аміаку;

$\eta = 7,7$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив швидкості й температури повітря над "дзеркалом випаровування" рідкого аміаку. Цей коефіцієнт визначається з емпіричних таблиць, при цьому прийнято, що швидкість повітряного потоку над "дзеркалом випаровування" становить 1 м/с (максимум для закритих приміщень), а температура повітря становить 20°С. Зі збільшенням температури значення цього коефіцієнта зменшуються, тобто

Зам. Інв. №
Підпис і дата
Інв. №

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
							82
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата		

прийняте значення для  $\eta$  "збільшує" можливі значення  $m_2$ . Проте, розрахункове значення  $m_2 = 3,18 \cdot 10^{-3}$  кг, що є занадто малою величиною в порівнянні з  $m_1$ .

У результаті одержуємо, що маса аміаку, що може випаритись, становить  $m = 3066,7$  кг.

Закономірності змішування пари аміаку й повітря приміщення компресорного цеху по суті не відомі, тому оцінку ефективного горизонтального розміру зони хмари, що характеризується нижньою концентраційною границею займання, проведемо по нормативній емпіричній формулі

$$R_{\text{нкпр}} = 14,5632 \left( \frac{m}{\rho \cdot C_{\text{нкпр}}} \right)^{1/3},$$

де:  $R_{\text{нкпр}}$  – радіус зони, що характеризується значенням концентрації аміаку, вищої або рівної нижній концентраційній границі

$C_{\text{нкпр}} = 15\%$  об. займання суміші, м;

$m$  – маса аміаку, що випарився в атмосферу компресорного цеху, кг;

$\rho$  – густина газоподібного аміаку при нормальному тиску (1 атм.) і розрахунковій температурі, що приймають рівною максимальному значенню у відповідній кліматичній зоні (для м. Одеси –  $38^\circ\text{C}$ ),  $\text{кг/м}^3$ .

Густина газоподібного аміаку розраховуємо по формулі

$$\rho = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + t_B/273,15)},$$

де  $M = 17,03$   $\text{кг/моль}$ ,  $t_B = 38^\circ\text{C}$ ,  $V_0 = 22,413$   $\text{м}^3/\text{кмоль}$  – молярний об'єм при  $P = 1$  атм.

При цьому  $\rho = 0,667$   $\text{кг/м}^3$ , а підстановка отриманих значень у формулу для  $R_{\text{нкпр}}$  дає значення

$$R_{\text{нкпр}} = 98,19 \text{ м.}$$

Із цього значення тепер можна розраховувати радіус  $R_n$  (у метрах) зони теплової дії "пожежі-спалаху", тобто високотемпературних продуктів згоряння, по формулі

Зам. Інв. №
Підпис і дата
Інв. №

						<i>KPM.XUKP.1.51-03.1.25</i>	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата		83

$$R_{\Pi} = R_{\text{нкпр}} \cdot (E-1)^{1/3},$$

де  $E$  – коефіцієнт розширення продуктів згоряння й може бути прийнятий рівним 7. Тоді

$$R_{\Pi} = 98,19 \cdot (7-1)^{1/3} = 178,42 \text{ м.}$$

Перевірку якості отриманих прогнозних значень кількості  $m$  аміаку, що випарився, радіусу  $R_{\text{нкпр}}$  хмари й радіусу зони теплового впливу "пожежі-спалаху" можна здійснити іншим шляхом, опираючись на нормативне середнє значення для інтенсивності (швидкості  $W$ ) випаровування аміаку, що дорівнює  $3,18 \cdot 10^{-3}$  кг/(м<sup>2</sup> сек). Тоді оцінка маси аміаку, що випарився, буде дорівнювати

$$m = W \cdot F_k \cdot \tau_k = 3,18 \cdot 10^{-3} \cdot 138,6 \cdot 600 = 264,4 \text{ кг.}$$

За тими ж формулами одержуємо, що в такому варіанті  $R_{\text{нкпр}} = 43,38$  м, а  $R_{\Pi} = 78,83$  м. Ці значення близькі до отриманих вище, і їм ми віддамо перевагу, оскільки вони отримані більш аргументованим методом за своїми значеннями.

Для проведення аналізу імовірнісних аспектів "пожежі-спалаху" у плані теплової дії на людей, їхньої можливої загибелі проводимо розрахунок імовірності збитку в рамках закону нормального розподілу ймовірностей (через так звану "пробіт-функцію" –  $Pr$ ). Ці величини пов'язані співвідношенням

$$P\left(\frac{Y}{A}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr} e^{-\frac{(x-5)^2}{2}} \cdot dx,$$

де  $\frac{Y}{A}$  – подія, що полягає у виникненні збитку при реалізації умови реалізації аварії  $A$  (у точці зони дії факторів небезпеки).

Проведені розрахунки дають, що для ймовірності ураження людини, рівної 0,10, відповідна "пробіт-функція"  $Pr = 3,72$ , а для  $P\left(\frac{Y}{A}\right) = 0,50$  значення  $Pr = 5,00$ .

Коли вражаючим фактором для людей є тепла дія (випромінювання) "пожежі-спалаху", то "пробіт-функція" пов'язана з дозою теплового випромінювання  $D$  співвідношенням

$$Pr = a + b \cdot \ln(D),$$

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

						<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							84
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата		

де:  $D = \tau \cdot q^{4/3}$ ,

$q$  – щільність теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;

$\tau$  – ефективний час експозиції.

Для випадку смертельного результату від поразки тепловим випромінюванням "людини в одязі" коефіцієнти  $a$  й  $b$  приймають значення:

$$a = -37,23, \quad b = 2,56.$$

Навпаки, при заданому значенні  $Pr$ , відповідна доза  $D$  випромінювання визначається як

$$D = \exp\left[\frac{Pr + 37,23}{2,56}\right], [(Вт/м^2)^{4/3} \cdot c].$$

Для випадку  $Pr_1 = 3,72$  й  $Pr_2 = 5,00$  одержуємо відповідні значення доз випромінювання

$$D_1 = 885,15, (кВт/м^2)^{4/3} \cdot c,$$

$$D_2 = 1459,4, (кВт/м^2)^{4/3} \cdot c.$$

Радіуси  $R_1$  й  $R_2$  зон, де можуть реалізуватися ці дози теплового випромінювання визначаються інтерполяційним шляхом

Таблиця 3.8.1

$D, (кВт/м^2)^{4/3} \cdot c$	3000	2300	1000	200
$R, м$	$1,1 \cdot R_0$	$1,2 \cdot R_0$	$1,3 \cdot R_0$	$1,4 \cdot R_0$

Тут  $R_0 \equiv R_{нкр} = 43,38$  м. У результаті інтерполяції одержуємо, що

$$R_1 = 1,307 \cdot R_0 = 56,7 \text{ м},$$

$$R_2 = 1,272 \cdot R_0 = 55,2 \text{ м}.$$

Таким чином, імовірність смертельної поразки тепловим випромінюванням "пожежі-спалаху", рівна 0,50, може реалізуватися на відстані 55,2 м від компресорного цеху, а ймовірність 0,10 характерна відстані 56,7 м.

На відстані  $R = 62,2 \text{ м} = 1,433 \cdot R_0$  величина дози прагне до нуля, а ймовірність смертельного впливу дорівнює нулю.

Зам. Інв. №
Підпис і дата
Інв. №

						<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>	Арк.
							85
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата		

На базі проведення аналогічних розрахунків одержуємо розподіл значень умовної й повної ймовірності потенційного ризику загибелі людини, що могла б перебувати на тій або іншій відстані від компресорного цеху. Результати цих розрахунків занесені в нижчеподану таблицю 3.8.2.

Таблиця 3.8.2

Відстань, R, м	Відносна відстань, R/R <sub>0</sub>	Доза теплового випромінювання, D, (кВт/м <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> с	Значення пробіту, Pr	Умовна ймовірність загибелі	Повна ймовірність загибелі
46	1,0604	3270	7,065	0,9806	2,87·10 <sup>-12</sup>
48	1,1065	2952	6,803	0,9643	2,83·10 <sup>-12</sup>
50	1,1526	2634	6,512	0,9347	2,74·10 <sup>-12</sup>
52	1,1987	2316	6,182	0,8815	2,58·10 <sup>-12</sup>
55	1,2679	1423	4,935	0,4742	1,39·10 <sup>-12</sup>
58	1,3370	702	3,127	0,0305	8,94·10 <sup>-14</sup>
60	1,3831	330	1,194	0,0001	0

При розрахунку повної ймовірності прийнято, що ймовірність утворення повітряно-аміачної хмари мінімальної й трохи більш високої концентрації становить 0,54, його займання – 0,50, згоряння без вибуху (детонації) – 0,212 (середнє значення по всіх аваріях). Враховано також, що ймовірність самої аварії з викидом у приміщення компресорного цеху рідкого аміаку (дані попереднього параграфу даного звіту) склала 5,12·10<sup>-11</sup>.

### 3.8.2. Прогнозування наслідків (територіальний ризик) від надлишкового тиску, ударної хвилі, що формуються під час "пожежі-спалаху"

При згорянні повітряно-аміачної хмари з розвитком надлишкового тиску у відкритому просторі (погіршення ситуації при згорянні хмари, сформованої в

Зам. Інв. №
Підпис і дата
Інв. №

						<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата		86

просторі компресорного цеху) вражаючим фактором є сам надлишковий тиск, ударна хвиля, що поширюється в повітрі – відкритому просторі. Цей уражаючий фактор може привести до руйнувань будинків, загибелі людей через поразки легенів або через "кидальну" дію на людину (удар об огорожуючі конструкції), поразку органів слуху.

Надлишковий тиск, що виникає при "пожежах-спалахах", розрахований по формулі

$$\Delta P = P_0 \left( \frac{0,8m_{\text{пр}}^{1/3}}{R} + \frac{3m_{\text{пр}}^{2/3}}{R^2} + \frac{5m_{\text{пр}}}{R^3} \right),$$

де  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа (дорівнює приблизно 101 кПа);

$R$  – відстань від геометричного центру повітряно-аміачної хмари, м;

$m_{\text{пр}}$  – приведена маса газу або пари, кг.

При цьому, приведена маса  $m_{\text{пр}}$  розраховується по формулі

$$m_{\text{пр}} = \left( \frac{Q_{\text{сг}}}{Q_0} \right) mZ,$$

де  $Q_{\text{сг}} = 18,631 \cdot 10^6$  – питома теплота згоряння пари аміаку, Дж/кг;

$Q_0 = 4,52 \cdot 10^6$  – постійна величина, Дж/кг;

$m$  – маса аміаку, що випарився, з утворенням повітряно-аміачної суміші, кг;

$z$  – коефіцієнт участі компонент суміші в реакції, для повітряно-аміачної суміші приймається рівним 0,1.

У результаті розрахунку одержуємо, що

$$m_{\text{пр}} = \left( \frac{18,631 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \right) \cdot 264,4 \cdot 0,1 = 109,0 \text{ кг.}$$

Тепер можна розрахувати значення надлишкового тиску на різних відстанях  $R$  від геометричного центру повітряно-аміачної хмари (див. таблицю 3.8.3)

Зам. Інв. №						Арк.	
Підпис і дата						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	87
Інв. №							
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата	

Таблиця 3.8.3

R, м	40	42	45	50	60	80	100	120	150	200
ΔP, кПа	14,83	13,8	12,60	10,93	8,61	6,01	4,61	3,73	2,90	2,11

З таких даних відносно ΔP витікає, що:

- можливо повне руйнування легкоскидних конструкцій та несучих цегельних стін і стінових панелей компресорного цеху (ΔP ≅ 12–15 кПа). При цьому можлива поразка уламками людей, що приводить до вкрай важких травм (загибелі), до важких травм із втратою працездатності, до травм середньої тяжкості;
- на відстанях 20-30 м можливе травмування людей, які по якимось причинам ще будуть перебувати біля компресорного цеху;
- на відстанях близько 50-200 м від компресорного цеху знаходяться різні службові приміщення підприємства, порту, орендаторів ДП "ОМТП" й при ΔP ≅ 1–3 кПа тут можливі слабкі руйнування вікон і дверей, ушкодження у вигляді тріщин самонесучих цегельних стін і стінових панелей з легких бетонів.

Імовірності таких руйнувань моделюються "пробіт-функцією"

$$Pr = 5 - 0,26 \cdot \ln(V),$$

де:

$$V = \left( \frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left( \frac{290}{i_B} \right)^{9,3};$$

ΔP – надлишковий тиск, Па;

$i_B$  – імпульс хвилі тиску, Па·с.

Імпульс хвилі руйнування розраховується по формулі

$$i_B = 123 \cdot m_{пр}^{2/3} / R.$$

Результати розрахунків представлено в таблиці значень залежно від заданого значення відстані R від геометричного центра повітряно-аміачної хмари (стіни компресорного цеху) – див. таблицю 3.8.4

Зам. інв. №						Арк.
Підпис і дата						88
Інв. №						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата

Таблиця 3.8.4

R, м	$\Delta P$ , кПа	$i_B$ , кПа·с	$P_r$	Умовна ймовірність загибелі	Повна ймовірність загибелі
40	14,83	70,16	4,638	0,359	$8,63 \cdot 10^{-14}$
42	13,85	66,82	4,489	0,305	$7,33 \cdot 10^{-14}$
45	12,60	62,36	4,282	0,236	$5,68 \cdot 10^{-14}$
50	10,93	56,13	3,971	0,152	$3,65 \cdot 10^{-14}$
60	8,61	46,77	3,450	0,061	$1,46 \cdot 10^{-14}$
70	7,09	40,09	3,025	0,024	$5,81 \cdot 10^{-15}$
80	6,01	35,08	2,667	0,010	$2,36 \cdot 10^{-15}$
100	4,61	28,06	2,085	0,002	0

Тут, при розрахунку повної ймовірності, прийнято, що ймовірність утворення повітряно-аміачної хмари мінімальної й дещо більш високої концентрації становить 0,54, її займання – 0,50, згоряння з вибухом (з детонацією) – 0,0174 (середнє значення по всіх аваріях). Враховано також, що ймовірність самої аварії з викидом у приміщення компресорного цеху рідкого аміаку (дані п.5.4.3.) склала  $5,12 \cdot 10^{-11}$

### 3.9. Оцінка кількості небезпечних речовин, що беруть участь в аварії

Кількість небезпечної речовини, що може взяти участь в аварії, залежить від ступеню руйнування холодильної установки. Наприклад, при порушенні герметичності АХУ в місцях фланцевих з'єднань виток аміаку може бути незначним – на рівні декількох грамів за хвилину, але і така кількість холодильного агенту, що виходить з системи, може бути небезпечною для працюючого персоналу у випадку направленої дії. У випадку розгерметизації

Зам. Інв. №						Арк.	
Підпис і дата						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	89
Інв. №	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата	

окремого обладнання, при спрацьовуванні приладів автоматики та/або виконанні обслуговуючим персоналом інструкцій ПЛАС АХУ по відсіканню аварійної ділянки системи ручною запірною арматурою в терміни, що встановлені НТД, виток аміаку може бути на рівні декількох сотень кілограм.

На випадок, коли може відбутись відмова всієї системи аварійного захисту та обслуговуючий персонал не відпрацює аварійну ситуацію, що теоретично можливо, наприклад, при катастрофічній дії зовнішніх факторів природного або техногенного походження, руйнуванні холодильної установки, небезпека АХУ оцінюється від усієї кількості небезпечної хімічної речовини, що знаходиться в холодильній системі – 17,8 тонни аміаку (вимога діючих НТД).

### 3.10. Розрахунок ймовірних зон дії уражаючих факторів

Розрахунок надлишкового тиску вибуху аміачно-повітряної суміші в машинному залі компресорного цеху аміачної холодильної установки

Визначаємо стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції згорання

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2},$$

де  $n_C$  – кількість атомів С в молекулі пального;

$n_H$  – кількість атомів Н в молекулі пального;

$n_O$  – кількість атомів О в молекулі пального;

$n_X$  – кількість атомів галоїдів в молекулі пального.

$$\beta = 0 + \frac{3-0}{4} - \frac{0}{2} = 0,75.$$

Стехіометрична концентрація пари аміаку в повітрі

$$C_{CT} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta},$$

$$C_{CT} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 0,75} = 21,6 \%$$

Геометричний об'єм машинного залу компресорного цеху

$$V = 25,6 \cdot 19,2 \cdot 4,2 + 24,4 \cdot 3,6 \cdot 2,35 + 2 \cdot (2,2 \cdot 1,4 \cdot 2,35) = 2285 \text{ м}^3.$$

Зам. Інв. №
Підпис і дата
Інв. №

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата

*КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25*

Арк.

90

Приймаємо вільний об'єм приміщення машинного залу компресорного цеху

$$V_{CB} = 0,8 \cdot V,$$

$$V_{CB} = 0,8 \cdot 2285 = 1828 \text{ м}^3.$$

Кількість пари, що приймає участь у вибуху, при стехіометричній концентрації в повітрі машинного залу компресорного цеху (вибух з найбільш небезпечними наслідками)

$$m = \frac{V_{CB} \cdot C_{CT} \cdot \rho}{100},$$

де  $\rho$  – густина перегрітої пари аміаку.

$$m = \frac{1828 \cdot 21,6 \cdot 0,68}{100} = 268,5 \text{ кг}$$

Надлишковий тиск вибуху аміачно-повітряної суміші

$$\Delta P = (P_{MAX} - P_0) \cdot \frac{m \cdot z}{V_{CB} \cdot \rho} \cdot \frac{100}{C_{CT}} \cdot \frac{1}{K_H},$$

де  $P_{MAX}$  – максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші, кПа;

$P_0$  – початковий тиск, кПа;

$z$  – коефіцієнт участі пари аміаку у вибуху, який враховує характер її розподілу по об'єму приміщення машинного залу компресорного цеху;

$K_H$  – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення та неадіабатичність процесу горіння.

$$\Delta P = (450 - 101) \cdot \frac{268,5 \cdot 0,5}{1828 \cdot 0,68} \cdot \frac{100}{21,6} \cdot \frac{1}{3} = 58,2 \text{ кПа}$$

Коефіцієнт, що враховує дію аварійної вентиляції

$$K = A \cdot T + 1,$$

де  $A$  – кратність повітрообміну, що створює система аварійної вентиляції,  $\text{с}^{-1}$ ;

$T$  – термін за який відбувається приплив пари в приміщення цеху при аварії,  $\text{с}$ .

$$K = \frac{8}{3600} \cdot 3600 + 1 = 9.$$

Надлишковий тиск вибуху аміачно-повітряної суміші з урахуванням дії аварійної вентиляції машинного залу компресорного цеху

Зам. Інв. №						Арк.	
Підпис і дата						Арк.	
Інв. №						Арк.	
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата	КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	91

$$\Delta P = (P_{\text{MAX}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot z}{K \cdot V_{\text{CB}} \cdot \rho} \cdot \frac{100}{C_{\text{CT}}} \cdot \frac{1}{K_H},$$

$$\Delta P = (450 - 101) \cdot \frac{268,5 \cdot 0,5}{9 \cdot 1828 \cdot 0,68} \cdot \frac{100}{21,6} \cdot \frac{1}{3} = 6,5 \text{ кПа}$$

Класифікація небезпечних зон руйнувань надана в таблиці 3.10.1. Залежність впливу надлишкового тиску вибуху на ступінь ураження людини – див. таблицю 3.10.2.

Таблиця 3.10.1 – Класифікація небезпечних зон руйнувань

Клас зони	Надлишковий тиск вибуху, кПа	Ступінь руйнування будівель та споруджень
1	≥ 100	Повне руйнування
2	53	50% руйнування будівель
3	28	Середні ушкодження – руйнування будівель без обрушень
4	12	Помірні руйнування, ушкодження внутрішніх перегородок, рам, дверей
5	5	Нижній поріг травмування людини. Вибите скло
6	3	Незначні ушкодження, частково вибите скло

Таблиця 3.10.2 – Залежність впливу надлишкового тиску вибуху на ступінь ураження людини

Рівень ураження	Надлишковий тиск, бар
Безумовне смертельне ураження	5÷8
Летальний наслідок, 50% випадків	3,5÷5
Поріг смертельного ураження	2÷3
Тяжкий ступінь ураження легень	1,33÷2
Розрив барабаних перетинок, 50% випадків	2÷2,33 (вік до 20 років) 1÷1,33 (вік більше 20 років)

Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. №	

Максимальний тиск вибуху повітряно-аміачної суміші складає 450 кПа. З урахуванням коефіцієнта участі пари аміаку у вибуху, негерметичності приміщення машинного залу компресорного цеху та неадіабатичності процесу горіння, надлишковий тиск вибуху може бути 58,2 кПа. Якщо під час викиду аміаку та його випаровування з підстильної поверхні в приміщенні буде працювати аварійна вентиляція (кратність 8), надлишковий тиск вибуху зменшиться в 9 раз і не перевищить 6,5 кПа. У випадку відмови системи аварійної вентиляції рівень аварії

За розрахунковими даними виходить, що всі апарати та агрегати аміачної холодильної установки попадають в III категорію вибухонебезпечності ( $Q_B < 27$ ).

### **3.11.Оцінка можливих негативних наслідків для визначення об'єктів "турботи" суспільства (кількість потерпілих, ступінь руйнувань, матеріальні втрати, збитки тощо)**

За результатами розрахунків та довгострокового прогнозування можливих наслідків аварії АХУ відповідно до вимог діючих НТД виходить, що:

- для обслуговуючого персоналу АХУ, робітників та службовців цехів, де знаходяться елементи холодильної установки існує загроза отруєння (ураження) аміаком (в тому числі зі смертельними наслідками), отримання хімічного та термічного опіку, ураження ударною хвилею вибуху аміачно-повітряної хмари, осколками зруйнованого обладнання та будівельних (легкоскидних) конструкцій, тепловим випромінюванням і задимленістю повітря (у випадку пожежі). Найбільша чисельність обслуговуючого персоналу АХУ, який одночасно працює в компресорному цеху складає – 4 люд., звичайна зміна – 4 люд. Максимальна чисельність людей, що разом можуть працювати в приміщеннях холодильника – до 34 люд., робітників допоміжних приміщень холодильника – 1 люд. Обслуговуючий персонал АХУ зобов'язаний постійно мати при собі протигази з коробкою марки КД, має можливість скористатися запасними ЗІЗ шкіри та органів дихання. Персоналу інших виробничих дільниць, де встановлено обладнання АХУ,

Зам. інв. №						Арк.	
Підпис і дата						КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25	93
Інв. №							
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата	

забезпечено безперешкодний доступ до засобів індивідуального захисту, які зберігаються на робочих місцях. Можливі втрати робітників та службовців у випадку хімічного забруднення повітря, при використуванні відповідних засобів індивідуального захисту – не більше 1 люд. Прогнозовані матеріальні збитки в приміщеннях АХУ при аварії – матеріальні затрати на проведення рятувальних, протиаварійних та відновлювальних робіт в обсягах, що залежать від об’єму аварії, а також наступних обов’язкових робіт по підвищенню безпеки експлуатації АХУ;

– для людей, що знаходяться на території та в санітарно-захисній зоні підприємства існує реальна небезпека ураження надлишковим тиском вибуху аміачно-повітряної суміші, поранення при руйнуванні швидкоскидних (будівельних) конструкцій, отруєння та ураження парою аміаку. На території підприємства, зовні дільниці АХУ, приміщень холодильника, в робочий час може знаходитись 28 люд. У випадку отруєння атмосфери аміаком кількість втрат працівників (при використанні ЗІЗ, які зберігаються на робочих місцях) складе – не більше 1 люд., без ЗІЗ – до 100%. Матеріальні збитки на території, що прогножуються у випадку аварії, складаються з необхідності витрат на проведення рятувальних, протиаварійних та відновлювальних робіт, робіт по дезактивації пари на території та у приміщеннях підприємства;

– для персоналу підприємств та організацій, населення, що знаходяться поруч під час аварії з повною розгерметизацією АХУ існують ризики негативних наслідків, типових для випадку отруєння аміаком, який може міститись у повітрі з уражальними концентраціями. Кількість населення, що може потрапити в прогнозовану зону хімічного забруднення складає 570 люд., з яких легкі травми (отруєння) можуть одержати – до 5 чол., травми середньої тяжкості – до 8 чол., травми зі смертельними наслідками – до 7 чол. Проте більш чим за 100 років використання аміаку в промислових цілях у світі не зареєстровані смертельні випадки при аваріях з викидом аміаку далі чим за 200 метрів від осередку аварії. Тому прогнозування чисельності

Інв. №	Підпис і дата	Зам. Інв. №							Арк.
			<b>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</b>						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата			94	

постраждалих згідно вимог діючих НТД можна розглядати як запобіжне. У випадку розвитку аварії за межами підприємства прогноуються моральні та матеріальні збитки, передбачуваний розмір яких визначений договором обов'язкового страхування цивільної відповідальності суб'єкта господарювання

Питома смертність у випадку ураження аміаком

Вихідні дані по ураженню аміаком для визначення питомої смертності. Тоді питома смертність М (чол./т) від аміаку складає:

- усі випадки аварій хімічних виробництв – 0,02 чол./тонну;
- зберігання аміаку – 0,05 чол./тонну.

Як видно, значення досить малі і для АХУ, що розглядається, очікувана смертність у випадку аварії  $0,27 \div 0,67$  чоловік. Таким чином, на базі статистичної інформації у випадку аварії, прогнозовані втрати складають не більше однієї людини.

Інв. №	Підпис і дата	Зам. Інв. №							Арк.
			<i>КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25</i>						95
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата				

## ВИСНОВКИ

У роботі проведено комплексну оцінку хімічної обстановки при аварійній розгерметизації аміачної холодильної установки підприємства з масою аміаку в системі 9,1 т. Встановлено, що об'єкт належить до потенційно небезпечних об'єктів та потребує постійного контролю технічного стану обладнання.

Проведено прогнозування рівня безпеки окремих блоків обладнання АХУ. За результатами розрахунків встановлено, що найбільш небезпечними елементами системи є лінійні ресивери R101–R102 та компресорні агрегати. Для окремих сценаріїв аварій радіус зони руйнувань досягає до 61,45 м.

Результати прогнозування територіального ризику показали, що при відстані 46–52 м від компресорного цеху умовна ймовірність загибелі людини може становити від 0,88 до 0,98, а при збільшенні відстані до 58–60 м ризик різко знижується практично до нульових значень.

Для зменшення ризику виникнення надзвичайних ситуацій (НС) на об'єктах підвищеної безпеки (ОПН) необхідно проводити роботу з виявлення потенційних джерел НС, їх прогнозування та запобігання. Цей процес включає проведення ідентифікації об'єкта, та віднесення його до відповідного класу безпеки.

Інв. №	Підпис і дата	Зам. Інв. №							Арк.
			КРМ.ХУКП.1.51-03.1.25						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підпис	Дата				96





