

Дніпродзержинський державний технічний університет

АНАЛІЗ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ І АВАРІЙ АМІАЧНО-ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ТА ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Вступ. Для отримання низьких температур технологічними схемами компресорного цеху багатьох промислових підприємств харчової та переробної промисловості передбачено застосування токсичної речовини – аміаку.

Потенційна небезпека таких технологічних схем полягає у порушенні герметичності обладнання і трубопроводів, що містять аміак. Найбільшу небезпеку з цієї точки зору являють собою руйнування автоцистерн з рідким аміаком; руйнування напірних трубопроводів компресорів; порушення герметичності відокремлювачів рідини, лінійних та циркуляційних ресиверів, запірної арматури, батарей холодильних камер.

Наслідком таких аварій є виникнення загазованості виробничого приміщення, відкритого майданчика цеху і підприємства в цілому, а також прилеглих житлових районів; утворення вибухонебезпечної суміші аміаку з повітрям в приміщеннях, внаслідок чого можливі вибухи і пожежі.

Джерелами локальних викидів аміаку можуть служити процеси стиснення газоподібного і нагнітання рідкого аміаку, а також зливно-наливні операції.

Постановка задачі. Проаналізувати ймовірні аварійні ситуації та аварії, кількісно оцінити масштаби зон ураження, їх наслідки при порушенні герметичності обладнання і трубопроводів аміачно-холодильних установок.

Результати роботи. Аміачна холодильна установка (АХУ) являє собою єдину систему, об'єднану системою трубопроводів у замкнутий контур, в якому відбуваються тільки термодинамічні процеси та пов'язані з ними фазові перетворення холодоагенту. АХУ складається зі взаємопов'язаних елементів: машин, апаратів, приладів, трубопроводів і споруд, призначених для отримання, транспортування та використання штучного холоду в технологічних процесах основного виробництва (наприклад, при виготовленні морозива) за допомогою безпосереднього охолодження і проміжних холодоносіїв (розіл, крижана вода), а також при холодильній обробці та зберіганні харчових продуктів у камерах цеху готового продукту і в технологічному цеху (система безпосереднього охолодження).

Технологічна схема отримання низьких температур в багатьох випадках наступна [1]. Пари аміаку стискаються в ступені низького тиску двоступеневого компресора до проміжного тиску. Стислі і перегріті пари після мастиловіддільника надходять в проміжну посудину, в якій охолоджуються аміаком. З проміжної посудини пари відсмоктуються щаблем високого тиску, стискаються до тиску конденсації, направляються до загального нагнітального трубопроводу і через мастиловіддільники потрапляють в конденсатори. Сконденсований аміак стікає в лінійні ресивери, з них основна кількість аміаку проходить по змійовиках промпосудин для переохолодження. Інша частина рідкого аміаку дроселюється, заповнює проміжну посудину до певного рівня і витрачається на охолодження пари між щаблями низького і високого тисків і на переохолодження рідкого аміаку, що проходить по змійовиках.

Із змійовиків проміжних посудин рідкий аміак направляється в циркуляційний ресивер, а звідти насосами через регулюючу станцію подається в прилади охолодження з температурами кипіння аміаку «мінус» 10°C, «мінус» 30°C і «мінус» 40°C. Пари, що

утворилися в батареях і повітроохолоджувачах, разом з невивареною рідиною через паровий колектор повертаються у відповідні циркуляційні ресивери. Аміак, що не випарувався, йде знову на підпитку батарей, а пари з циркуляційних ресиверів відсмоктуються ступенями низького тиску двоступеневих компресорів.

Снігова шуба відтає під дією гарячих парів аміаку, що подається через газовий колектор. Для зливу рідкого аміаку з батарей перед відтаюванням використовується дренажний ресивер.

Рідкий аміак для підживлення холодильного циклу доставляється на підприємства автоцистернами, з яких по рідинній магістралі з труб зливається в циркуляційні ресивери або в батареї системи охолодження. Залежність тиску парів аміаку від температури наведено в табл.1 [2].

Таблиця 1 – Тиск насичених парів аміаку над рідиною в закритій посудині

Температура, °C	Тиск	
	МПа	кгс/см ²
- 40	0,073	0,73
-33,4	0,101	1,01
- 30	0,120	1,20
- 20	0,190	1,90
- 10	0,291	2,91
0	0,429	4,29
10	0,615	6,15
20	0,857	8,57
30	1,166	11,66
40	1,553	15,53
50	2,030	20,30

Основні небезпеки, характерні для АХУ, обумовлюються токсичними властивостями аміаку і його кількістю, накопиченій в одному апараті.

Аналіз причин аварій та нещасних випадків, що сталися при експлуатації АХУ на підприємствах харчової та переробної промисловості, показав, що технічні причини аварій і нещасних випадків та їх відносна кількість наступна: 1) гідроудари в компресорах і вибухи – 49,0 %, в тому числі в першому ступені – 38,4 %, в другому ступені – 10,6%; 2) високий тиск – 10,6%; 3) висока температура – 4,2%; 4) виток аміаку з інших причин, крім гідроударів, високих тисків і температур – 21,3%; 5) особливі випадки – 14,9% [3].

До причин великих аварій з викидом аміаку на підприємствах харчової та переробної промисловості можна також віднести: пожежа на вводі основного та резервного електропостачання; загоряння теплоізоляції; промерзання ґрунту і його спучування, що призводить до руйнування будівельних конструкцій; незадовільний технічний стан елементів холодильної установки.

Проаналізовані аварії та аварійні ситуації, що пов'язані з експлуатацією аміачних холодильних установок на території України за останні десять років, можна класифікувати за наступними категоріями: недотримання правил експлуатації – 76%; недосконалість систем охолодження – 17%; дефект монтажу – 5%; заводський брак обладнання – 2%.

Класифікувати причини аварій та нещасних випадків залежно від виду операцій обслуговування устаткування можливо наступним чином: обслуговування компресора – 47,7%, з них пуск – 33,4%, звичайна робота – 14,3%; обслуговування циркуляційних і захисних ресиверів та відокремлювачів рідини – 2,4%; обслуговування проміжних посудин – 7,1%; ремонт та монтаж обладнання, арматури – 9,5%; заповнення системи аміаком, наповнення аміаком балонів – 4,8%; випуск мастила з системи – 4,8%; відтавання снігової шуби з охолоджувальних пристроїв – 7,1%; обслуговування випарників – 7,1%; обслуговування конденсаторів – 2,4%; інші технологічні операції і роботи – 7,1%.

Більшість аварій та нещасних випадків відбувається під час пуску компресора в роботу в другій половині робочої зміни, коли у обслуговуючого персоналу з'являється деяка втома, притупляється пильність.

Розрахунок розмірів можливих зон ураження при зливі аміаку з автоцистерни проводився за затвердженими методиками [5] для різних погодних умов і станів стійкості атмосфери. Схема ймовірного сценарію розвитку максимально можливої аварії при зливі аміаку з автоцистерни представлена на рис.1. Наслідком викиду або витоків рідкого аміаку є утворення токсичної хмари і токсичної хвилі. Результати розрахунку глибини зони зараження при протокі рідкого аміаку наведено в табл.2. Кількісну оцінку вибуху парів аміаку при аварії на відокремлювачі рідини наведено в табл.3, розміри зони зараження при утворенні токсичної хвилі – в табл.4.

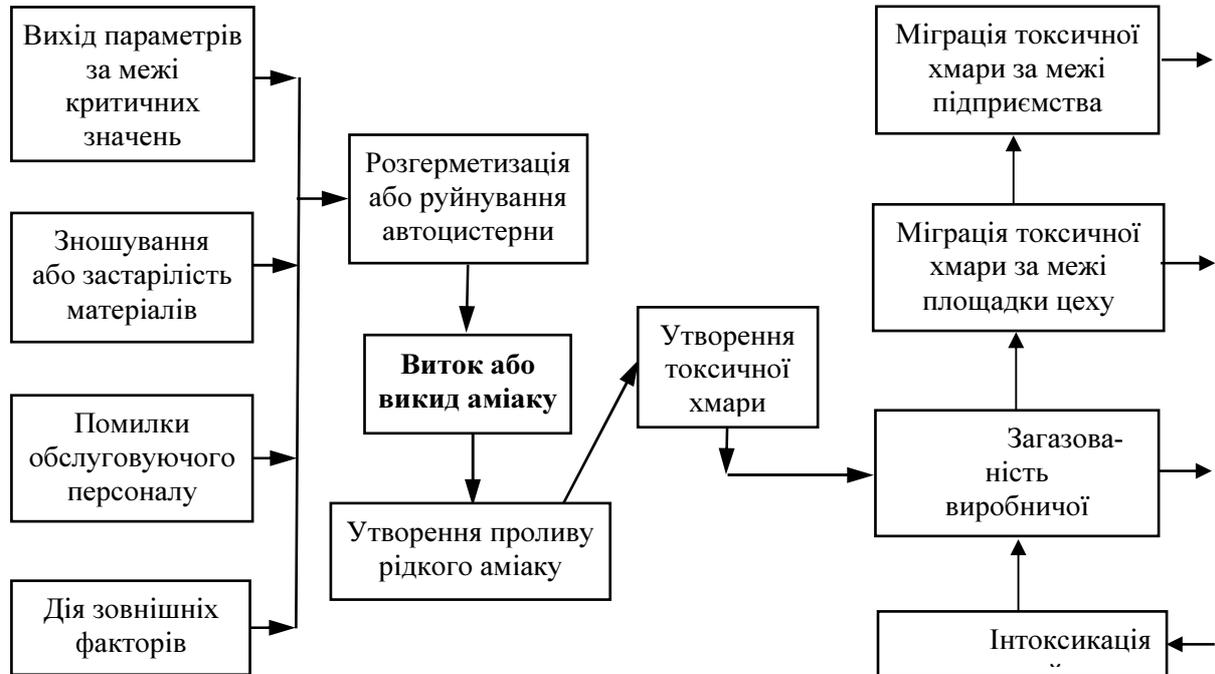


Рисунок 1 – Схема ймовірного сценарію розвитку аварії при зливі аміаку з автоцистерни

Таблиця 2 – Розміри зон ураження, що утворюються при руйнуванні автоцистерни з аміаком

Метеоумови			Глибина можливої / ширина прогнозованої зони зараження, км/км	Площа зони можливого зараження, м ²	Площа прогнозованої зони зараження, м ²	Час переміщення токсичної хвилі на глибину зони зараження, год.-хв.-сек.
Ступінь вертикальної стійкості атмосфери	Швидкість вітру, м/с	Температура, °С				
Інверсія	1,0	-20	1,186 / 0,332	2206729	150265	00-14-13
		0	1,264 / 0,345	2508877	170839	00-15-10
		+20	1,321 / 0,355	2740794	186631	00-15-51
	2,0	-20	0,843 / 0,271	557528	75929	00-05-03
		0	0,850 / 0,272	567018	77221	00-05-06
		+20	0,907 / 0,283	645818	87953	00-05-26
Ізотермія	4,0	-20	0,364 / 0,141	52073	23289	00-00-54
		0	0,371 / 0,143	54135	24211	00-00-55
		+20	0,379 / 0,145	56237	25151	00-00-56
	5,0	-20	0,300 / 0,122	35316	15795	00-00-37
		0	0,307 / 0,124	37018	16556	00-00-38
		+20	0,314 / 0,126	38760	17335	00-00-39
Конвекція	1,0	-20	0,136 / 0,045	28909	5711	00-01-09
		0	0,150 / 0,049	35316	6977	00-01-17
		+20	0,157 / 0,052	38760	7657	00-01-20

Таблиця 3 – Кількісна оцінка показників вибухонебезпечності при руйнуванні відокремлювача рідини в приміщенні машинного відділення

№ з/п	Назва параметру, позначення	Од. вим.	Показник
1	Енергетичний потенціал вибухонебезпечності, E	кДж	3983950
2	Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпечності, Q _в	---	9,59
3	Загальна приведена маса горючого газу, m	кг	86,61
4	Категорія вибухонебезпечності	...	III
5	R ₁	м	4,7
6	R ₂	м	7,0
7	R ₃	м	12,0
8	R ₄	м	35,2
9	R ₅	м	61,5

R₁ – радіус зони повного руйнування будівель та смертельної небезпеки для людей, на межі якої надлишковий тиск по фронту ударної хвилі, ($\Delta P \geq 100$ кПа);

R₂ – радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвал цегляних стін і смертельної небезпеки для людей, ($\Delta P = 70$ кПа);

R₃ – радіус зони слабких руйнувань будівельних конструкцій, для поновлення яких потребується їх часткове розбирання та смертельна небезпека для людей на відкритій місцевості, ($\Delta P = 28$ кПа);

R₄ – радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних прорізів, покрить, дахів) та тяжке травмування людей на відкритій місцевості, ($\Delta P = 14$ кПа);

R₅ – радіус зони часткового руйнування скла вікон, нижній поріг ураження людей на відкритій місцевості, ($\Delta P = 5$ кПа).

Таблиця 4 – Розміри зон ураження, що утворюються при руйнуванні відокремлювача рідини з аміаком

Метеоумови			Глибина можливої / ширина прогнозованої зони зараження, км/км	Площа зони можливого зараження, м ²	Площа прогнозованої зони зараження, м ²	Час переміщення токсичної хвилі на глибину зони зараження, год.-хв.-сек.
Ступінь вертикальної стійкості атмосфери	Швидкість вітру, м/с	Температура, °С				
Інверсія	1	+20	0,081 / 0,066	10260	699	00-00-58
	2	+20	0,081 / 0,066	5130	699	00-00-29
Ізотермія	4	+20	0,035 / 0,024	482	215	00-00-05
	5	+20	0,027 / 0,020	285	127	00-00-03
Конвекція	1	+20	0,008 / 0,003	103	20	00-00-04

Проаналізуємо детальніше основні причини аварій та нещасних випадків, що сталися при експлуатації АХУ.

Гідроудари в першому ступені компресора. Гідроудари в першому ступені компресора відбуваються при експлуатації як схем безпосереднього охолодження (насосно-циркуляційних і безнасосних), так і схем з проміжним холодоносієм. Найбільш часті гідроудари в першому ступені компресорів, що працюють в безнасосних системах охолодження, особливо в системах з верхнім розташуванням відокремлювача рідини і відсутністю на всмоктувальній магістралі компресорів захисних ресиверів. Як показує досвід експлуатації систем охолодження такого типу [4], їх безпечна робота не може бути забезпечена без докорінної модернізації (установки захисних ресиверів необхідної ємності, перекладу на насосну циркуляцію аміаку).

Типовим прикладом аварії безнасосної холодильної установки з верхнім розташуванням відокремлювача рідини за відсутності захисних ресиверів перед компресорами може служити аварія на м'ясокомбінаті (м. Полтава). Різке збільшення теплового навантаження на камерні охолоджуючі пристрої (при завантаженні теплою ковбасою осадової камери ковбасного цеху) викликало бурхливе кипіння в них рідкого аміаку, переповнення відокремлювача рідини і викид аміаку в лінію всмоктування компресора. Розпочався стук в циліндрах, компресор знеструмили, але в цей момент сталися гідроудар, руйнування компресора і викид аміаку з системи. Подібні аварії мали місце на молочному заводі (м. Херсон), маслосирзаводі (м. Генічеськ).

Аварії при експлуатації насосно-циркуляційних систем охолодження більш рідкісні. Дуже важливе значення для насосно-циркуляційних систем охолодження має не тільки правильний вибір ємності циркуляційних ресиверів, але і правильне взаємне розміщення ресивера і аміачного насоса, що гарантує стійку роботу останнього, так як в іншому випадку експлуатація установки пов'язана з виникненням аварійних ситуацій.

У системах охолодження з проміжним холодоносієм коливання теплового навантаження не викликають різких змін умов роботи АХУ. Незважаючи на це, аварії в системах охолодження з проміжним холодоносієм також не є рідкісними і відбуваються через переповнення випарників при ручній підтримці в них рівня рідкого аміаку.

Слід зазначити ряд причин гідроударів в компресорах, які притаманні як системам безпосереднього охолодження, так і з проміжним теплоносієм:

- 1) переважна більшість гідроударів в першому ступені компресорів стала можливою через відсутність або непрацездатність аварійних реле рівня (на відділювачах рідини, циркуляційних або захисних ресиверах, випарниках);
- 2) ручне регулювання рівня рідкого аміаку в апаратах АХУ часто призводить до їх переповнювання і, як наслідок, до аварій;
- 3) неправильний пуск компресорів після тривалої стоянки без дренажу всмоктуючих і нагнітальних магістралей від можливого скупчення рідкого аміаку, масла, а також швидке відкриття всмоктувального вентиля компресора;
- 4) помилкові дії обслуговуючого персоналу при підключенні додаткового теплового навантаження (викид рідкого аміаку з охолоджувальних пристроїв, апаратів при різкому падінні в них тиску).

Також можна виділити ряд обставин, які сприяють перетворенню небезпечних режимів роботи установки на аварії:

- 1) відсутність у дверей машинного відділення аварійних кнопок, що при виникненні стуку в компресорах не дозволяє своєчасно їх вимикати, а змушує машиністів робити це в безпосередній близькості від компресора, що працює в аварійному режимі;
- 2) відсутність високої кваліфікації обслуговуючого персоналу, правильних та скоригованих дій при аварійних ситуаціях, що внаслідок розгубленості машиністів призводить до помилкових дій, яка збільшує ймовірність аварійної ситуації. Показовою в цьому відношенні є аварія, що сталася на м'ясокомбінаті (м. Рівне). Почувши стукіт у

циліндрах, машиніст, замість негайного натискання аварійної кнопки, як цього вимагають інструкції з охорони праці, спочатку перекрив вентиль на регулюючій станції, а потім став закривати всмоктуючий вентиль компресора, але зробити цього вже не встиг через гідроудар.

Гідроудари в другому ступені компресора. Аварії внаслідок гідроудару в другому ступені компресора більш рідкісні, ніж у першому ступені. Аварії такого типу відбуваються, в основному, через переповнення проміжних посудин при ручному регулюванні в ньому рівня рідкого аміаку та відсутність або непрацездатність встановлених на ньому аварійних реле. Гідроудари в другому ступені компресорів відбуваються також при пуску машин в роботу через попадання в циліндри компресора високого щабля рідкого аміаку, що сконденсувався в магістралі при тривалому стоянні (через низьку температуру навколишнього повітря або при продовженні подачі води в охолоджувальні сорочки зупиненого компресора). При цьому рідкий аміак може потрапляти в циліндри компресора як через магістраль (при нещільності зворотних клапанів і нагнітальних вентилів), так і через лінію всмоктування (через байпас компресора). Аварії внаслідок гідроудару у другому ступені компресорів відбуваються внаслідок недосконалості систем охолодження та конструкцій проміжних апаратів.

Аварії через високий тиск. Аварії такого типу відбуваються зазвичай при пуску компресора в роботу, коли забувають відкрити нагнітальний вентиль. Нещасні випадки відбуваються також при роботі компресора, коли, не знижуючи тиску в його картері до атмосферного, роблять розтин машини (аварія на птахокомбінаті, м. Умань).

Аварії через високу температуру. Аварії обладнання внаслідок високої температури дуже рідкісні, проте вони зустрічаються на практиці і відбуваються при роботі компресора без подачі необхідної кількості води в охолоджувальну сорочку компресора і на конденсатор (аварія на м'ясокомбінаті, м. Суми).

Витоки аміаку з інших причин. Дані аварії відбуваються, в основному, через охолоджувальні пристрої в камерах (при відтаванні снігової шуби) та з систем трубопроводів, а також через арматуру. На практиці були випадки спуску мастила з систем аміачної холодильної установки, минаючи мастилозбірники.

Висновки. При викиді газоподібного та протіканні рідкого аміаку формується токсична газова хвиля, потужність якої визначається масою викиду. Швидкість руху газової хвилі і міграція токсичної хмари, яка утворюється, залежать від кліматичних умов, в основному від стану атмосфери.

Протікання рідкого аміаку набагато більш небезпечні, ніж викиди газоподібного, так як при протіканні рідкого аміаку джерело утворення газової хвилі існує тривалий час.

Небезпеки викидів аміаку в атмосферу в багатьох випадках пов'язані з низькою якістю ремонту і ненадійною у зв'язку з цим герметизацією компресорного устаткування, що при великих динамічних знакозмінних навантаженнях призводить до руйнування, особливо в місцях роз'ємних з'єднань. З цієї причини, наприклад, на одному з підприємств м. Львів стався вибух аміаковмісного газу в компресорному відділенні під час пуску після капітального ремонту. При перевірці наявності пропусків газу зірвало кришку клапанної коробки другого ступеня нагнітання. Руйнування клапанної коробки компресора, що знаходиться під тиском газу, було обумовлено низькою якістю матеріалу кришки і незадовільним затягуванням гайок на ній. У технічних умовах на ремонт газових компресорів були відсутні вказівки, що визначають порядок знімання гайок кріплення і затискних гвинтів при установці кришки і усунення пропусків газу.

Особлива увага повинна бути звернена на безпеку виникнення гідравлічних ударів при некваліфікованій експлуатації компресорного устаткування, особливо в пус-

ковий період після ремонту або тривалого простою. Так, у приміщенні машинного відділення аміаку під впливом гідравлічного удару зруйнувалася клапанна коробка першого ступеня компресії з викидом рідкого аміаку в приміщення. Було встановлено, що лінія аміаку протягом двох діб не експлуатувалася і перебувала під тиском газоподібного аміаку. Температура навколишнього повітря була нижчою «мінус» 30°C, і аміак сконденсувався в лінії. На момент пуску компресора вентиль на продувальній лінії було відкрито. При пуску компресора рідкий аміак потрапив до циліндру першого ступеня, що при стисненні призвело до гідроударів з руйнуванням клапанної коробки компресора, викиду рідкого аміаку і загазованості приміщення.

Аналіз аварій показує, що в багатьох випадках потрапляння рідини в циліндри, що викликає гідравлічні удари і руйнування апаратури, пов'язане з несправністю приладів контролю рівня рідини у віддільниках рідини і циркуляційних ресиверах на всмоктуючій стороні компресорів, а також з іншими порушеннями режиму роботи машин. Такі випадки досить часто спостерігаються на аміачних компресорах холодильних установок.

Іншим джерелом аварій можуть бути зливно-наливні операції, рівень механізації та автоматизації яких дуже низький, що неминуче призводить до різних помилок, які викликають викиди аміаку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Устройство, монтаж, техническое обслуживание и ремонт холодильных установок [Гиль И.М., Гринников Ю.А., Канторович В.И., Мухин В.Г.]. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 464с.
2. Кондрашова Н.Г. Холодильно-компрессорные машины и установки / Кондрашова Н.Г., Лашутина Н.Г. – М.: Высшая школа, 1984. – 321с.
3. Стрижевский И.И. Вопросы безопасности при проливах жидкого аммиака / И.И.Стрижевский // Исследования и разработки по созданию аммиакопроводов и складов жидкого аммиака: сб. трудов. – М.: Труды ГИАП, 1983. – С.42-46.
4. Постарнак С.Ф. Холодильные машины и установки / Постарнак С.Ф., Зуев Ю.Ф. – М.: Транспорт, 1982. – 335с.
5. Методика прогнозування наслідків впливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. – Київ 2001. – 43с.
6. <http://www.dnopr.kiev.ua> - Офіційний сайт Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду (Держгірпромнагляду).

Надійшла до редколегії 14.02.2014.