

## РОЗДІЛ «БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ»

УДК 669...85.001.57

ГАСИЛО Ю.А., к.т.н., доцент

ЛЕВЧУК К.О., к.е.н.

ПЛУЖНИК І.О., студент

Дніпродзержинський державний технічний університет

### МЕТОД МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДІВ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

**Вступ.** Прогрес техніки та покращення економічних показників в сучасному промисловому виробництві пов'язані з укрупненням агрегатів, інтенсифікацією процесів та впровадженням агрегатів великої теплової потужності, що призводить до значного збільшення надлишкових тепловиділень. Теплова напруженість цих приміщень складає 290-350 Вт/м<sup>3</sup>, тоді як вже при 23 Вт/м<sup>3</sup> (згідно з СН 245-71) цех чи дільниця вважаються гарячими. Все більшого значення при цьому набувають проблеми промислового теплообміну, оскільки випромінювання є одним із видів теплопередачі. Виконання трудових операцій в умовах теплового опромінення та підвищеної температури повітряного середовища викликає зниження працездатності та збільшення втомлюваності, що значною мірою впливає на зростання травматизму, особливо в теплий період [1].

Статистичний аналіз захворюваності показав, що захворювання працівників гарячих цехів пневмонією складають 190%, грипом 150%, ангіною 140% (приймаючи за 100% загальнозаводські показники). У зимовий період у гарячих цехах зростає кількість простудних захворювань. Продуктивність праці на робочих місцях з надлишковим тепловим опроміненням знижується на 10-20%.

Аналіз дії теплових випромінювань з довжиною хвилі від 0 до 10 мкм показує, що вони є найбільш небезпечними для організму працюючих в цехах і виробництвах з підвищеними тепловими виділеннями.

Теплові випромінювання є основною професійною шкідливістю у праці металургів, тому для гарячих цехів задача зниження тепловипромінювань є вирішальною у загальній системі заходів, що забезпечують здорові умови праці.

Внаслідок збільшення теплових навантажень несучі будівельні конструкції підлягають впливу високої температури, що викликає їхнє передчасне зношення і знижує безпеку робіт.

Тому дослідження і розробка нових теплозахисних покриттів у вигляді обмазок і фарб має особливу актуальність для вирішення завдань теплозахисту робочих місць операторів, виробничого устаткування і будівельних конструкцій.

**Постановка задачі.** Виникає необхідність підбору конструкційних матеріалів підвищеної стійкості до дії потужних потоків випромінювання і температури до 350<sup>0</sup>С, а також створення систем захисту, котрі попереджують проникнення тепла у робочі приміщення.

До теплозахисних матеріалів відносяться, окрім теплоізоляційних, деякі метали, вогнетриви, рідини, пластичні маси і гази, а також композиції з них. Основними вимогами до теплозахисного матеріалу є високий теплозахисний ефект, стійкість до температурної дії, механічна міцність, відносна легкість і конструкційність. В залежності від системи захисту необхідно розробити матеріали, які мають теплопоглинаючі або тепловідбиваючі властивості. До оптичних (терморадіаційних) характеристик теплозахисних покриттів відносяться поглинаюча, відбиваюча та пропускну здатність. Вони вира-

жаються коефіцієнтами поглинання, відбиття та пропускання (формули (1)-(3) відповідно):

$$\lambda = \frac{E_{\text{п}}}{E_{\text{о}}}; \quad (1) \quad r = \frac{E_{\text{від}}}{E_{\text{о}}}; \quad (2) \quad d = \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{о}}}, \quad (3)$$

де  $E_{\text{о}}$ ,  $E_{\text{п}}$ ,  $E_{\text{від}}$ ,  $E_{\text{пр}}$  – відповідно падаючий, поглинений, відбитий та пропущений потоки випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>.

Поглинаюча здатність залежить від властивостей тіла, температури та спектрального складу падаючого випромінювання, тобто від властивостей джерела, опромінюючого дане тіло. Інтегральна поглинаюча здатність діелектричних матеріалів висока і складає 0,8-0,98. Величина відбиваючої та поглинаючої здатності визначається глибиною проникнення випромінювання в середину речовини тіла.

Діелектрики слабо поглинають на поверхні, тому інфрачервоні промені проникають в середину матеріалу і навіть проходять наскрізь або повністю поглинаються при достатній товщині шару. Метали володіють властивістю сильно поглинати на поверхні, тому падаюче випромінювання незначним чином проникає в середину і, в основному, відбивається від поверхні. Енергія випромінювання, поглинутого поблизу, поширюється в глибину тіла шляхом теплопровідності.

Математичне формулювання завдання полягає в наступному:

- дані: набір функцій відбиваючої здатності різних матеріалів  $P_n = P_n(\lambda)$ ;  
 функція вартості матеріалів  $S = S(n)$ ;  
 функція розподілу випромінюваної енергії для конкретного джерела  $f = f(\lambda)$ ,  
 де  $\lambda \in \Omega = \{0,1; 0,2; 0,3; \dots; 0,98; 0,99; 1,0\}$ ;  
 $n \in N = \{1; 2; 3; \dots; n_{\text{max}}^{-1}; n_{\text{max}}\}$ ;  
 $n_{\text{max}}$  – кількість теплозахисних матеріалів.

Необхідно:

визначити набір номерів матеріалів  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_r\} \in \underbrace{N \cdot N_x \dots N}_{r \text{ раз}}$ ,

сумарна вартість яких  $C_p = S(P_1) + S(P_2) + \dots + S(P_r)$  була б мінімальною.

У даній постановці цілочисельний індекс  $r$  може знаходитись у межах від 1 до 6, тобто у якості теплозахисних матеріалів можуть використовуватися від 1 до 6 матеріалів.

**Результати роботи.** У пакеті можна виділити наступні основні частини:

OPISANIE – модуль опису змінних параметрів і завдання початкових значень;

CONTROL – програма, призначена перш за все для перевірки правильності введеної інформації. Ця програма створює файл ДД6.OUT, у якому зберігається повна інформація про матеріали, занесені в базу даних, тобто їх вартість, коефіцієнт відбиваючої здатності (файл ДД2.DAT) або їх вартість і коефіцієнт поглинаючої здатності (файл ДД1.DAT), а також коефіцієнт випромінювання введеного джерела, отримані з файлу ДД3.DAT;

POCRITIE – головна програма, яка проводить вибір матеріалу для теплозахисного покриття, що складається з 1..6 матеріалів;

PODGOTOV – допоміжна програма, що містить процедури виводу рисунків на дисплей;

GRAFICA – допоміжна програма, що містить процедури для роботи в графічному режимі, зокрема, видача мовних шрифтів та інших елементів графіки;

TEMPERAT – відповідно до алгоритму, викладеного в довідниках, обчислює за заданою температурою джерела його функцію випромінювання і виводить її на дисплей. Для інтерполяції дискретних значень коефіцієнтів випромінювання залежно від темпе-

ратури джерела використовувалася інтерполяційна формула Лагранжа. Дискретні значення коефіцієнтів випромінювання джерел інтерполювалися багаточленом другого степеня. При цьому завдання вирішувалося так, щоб значення інтерполяційного багаточлена на даному проміжку не були негативними. Інакше, в розрахунку приймався коефіцієнт випромінювання, рівний 0.

У програмі передбачені процедури, що перешкоджають дублюванню матеріалів, які задовольняють теплофізичним властивостям шляхом простого збільшення їх кількості.

Апробація отриманих покриттів проводилася на спеціально розробленій експериментальній установці згідно з методикою і технологією нанесення теплозахисних покриттів.

1. Виконується зразок-еталон з деревинно-волокнистої плити (ДВП) діаметром 0,2 м і завтовшки 0,003 м із заданою відбиваючою здатністю.

2. На аналітичних вагах визначаємо масу початкових компонентів для заданих моно-і гетерогенних композитних складів.

3. При виготовленні гетерокомпозитних складів їх початкові складові перемішуються вручну або в мінімішувачах з напругою живлення 220 В з додаванням пластичних зв'язуючих.

4. На підготовлений зразок із ДВП за допомогою валика (щітки) наноситься досліджуваній склад теплозахисного покриття з товщиною шару 0,0005 м на підкладці з різних матеріалів (ДВП, алюміній, сталь полірована, цинк) завтовшки 0,0002 м, після чого зразки підсушуються при температурі 850-900<sup>0</sup>С протягом 1 години в муфельній печі з подальшим охолодженням в природному повітряному середовищі.

5. В процесі виконання технологічних операцій підбирається ефективна кількість шарів досліджуваної обмазки і її дисперсний склад.

6. Зразок закріплюється в барабані експериментальної установки, датчик якої повертається на 10<sup>0</sup>, 20<sup>0</sup> і далі (з кроком 10<sup>0</sup>) до 180<sup>0</sup> до нормалі.

7. Міняється підкладка на одну з вказаних в п.4., досліджуваній зразок розгортається на 180<sup>0</sup> і проводяться повторні дослідження.

8. Потім будуються ідеальна (Ламбертовська) об'ємна індикатриса розподілу відбивної здатності і реальні епюри оптичних характеристик досліджуваних матеріалів.

Дослідження теплозахисних показників виконувалось на фрагментах екрана, котрі відрізняються один від одного своїми конструктивними особливостями, а саме:

- одношаровий екран без зачорніння;
- одношаровий екран без зачорніння з отворами біля основи з повітряним продуванням;
- одношаровий екран із зачорнінням внутрішньої поверхні (ступінь чорноти – 0,98) з отворами біля основи, з повітряним продуванням;
- двошаровий екран без зачорніння з отворами біля основи, з повітряним продуванням;
- двошаровий екран із зачорнінням внутрішньої поверхні (ступінь чорноти – 0,98) з отворами біля основи, з повітряним продуванням без зміщенням сот;
- двошаровий екран із зачорнінням внутрішньої поверхні (ступінь чорноти – 0,98) з отворами біля основи, з повітряним продуванням із зміщенням сот.

Як показали дослідження, ефективність теплозахисту наведених вище конструкцій фрагментів екрану зростає із збільшенням кількості його шарів (один, два, три і т.д) у середньому 1,5-2<sup>0</sup>С на шар. Необхідно відзначити, що при збільшенні кількості шарів до 3 та більше ефективність теплозахисту зростає, але на незначно малі величини.

Подача повітря у 10 мм порожнину, утворену між верхнім тепловідбиваючим та другим шаром, дозволила отримати подвійний ефект:

- по перше, охолодження поверхні за рахунок дроселювання внаслідок тиску повітря (різниця температур перевищувала  $2^{\circ}\text{C}$ );

- по друге, очищення зовнішніх поверхонь кожного призматичного кутового відбивача, що дозволило підтримувати величину коефіцієнта відбиття ( $\rho=100\%$ ) на стабільному заданому рівні, а, отже, і збільшувати показник теплоізоляції.

Зачорніння внутрішньої поверхні фрагментів екрану із ступенем чорності 0,98 дозволило збільшити тепловідведення від внутрішнього поверхневого шару відбиваючого екрану. Ефективність теплоізоляції за рахунок зачорніння при тискові повітря 150 кПа всередині знаходиться у межах  $2,1-2,5^{\circ}\text{C}$ .

**Висновки.** Як бачимо, питання теплозахисту на виробництві набувають все більшого значення, оскільки для сучасної техніки характерні високоінтенсивні процеси, що протікають при високих параметрах теплообміну. Серед завдань, що виникають при проектуванні теплових агрегатів, устаткування і огорожі цехів або робочих місць, особливо важливі пов'язані з тепловим випромінюванням. Умови протікання процесів променистого теплообміну в гарячих цехах повністю не досліджені, експериментальних робіт в цій області проведено недостатньо. Найвні роботи по вивченню цього складного процесу пов'язані з визначенням чисто геометричних параметрів – кутових коефіцієнтів; тим часом перспективніший в цьому напрямі – метод моделювання полів випромінювань.

Необхідно проводити дослідження в області захисного екранування, розробки водяних і водоповітряних завіс і нормалізації конструкцій екранів.

У сучасних гарячих цехах з потужними джерелами тепла випромінювання і конвекція вносять до аеродинаміки внутрішньоцехових повітряних потоків специфічні особливості, які необхідно враховувати при проектуванні. Перш за все слід враховувати конвективні потоки біля стін джерел, особливо в тих випадках, коли швидкості потоків порівнюють із швидкостями аераційних притоків. Необхідно надати можливість природної течії конвективним потокам, що виникають у гарячих джерел, з тим, щоб вивести їх з робочих зон за допомогою екранування.

Велику увагу слід приділяти створенню нових систем аерації, що враховують дію природних конвективних струменів від потужних джерел тепла. Важливо встановити роль випромінювання від агрегатів для охолодження цехів у зимовий час і створити методи, що перешкоджають цьому явищу.

Одним з найважливіших завдань є захист будівельних конструкцій від дії теплового опромінювання. Для цього необхідно досліджувати опроміненість в умовах цехів, розробити способи розрахунку захисних засобів, а також різні покриття, що підвищують відбиваючі властивості конструкцій і змінюють оптичні властивості матеріалів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бабалов А.Ф. Защита головы и лица от теплового излучения на производстве. Тбилиси. ВЦ НИИОТ ВЦСПС, 1991
2. Сборник материалов Всесоюзного совещания по вопросам индивидуальных средств защиты. М:Институт охраны труда. 1991.-185 с.
3. Завьялов Ю.С., Скорospelов Л.А. Сплавы в инженерной геометрии.-М: Наука,1985.-224с.
4. Гасило Ю.А., Лигун А.О., Шумейко О.О. Метод математичного моделювання теплозахисних покриттів. Технополіс, №5 ,1997

Надійшла до редколегії 11.02.2014.

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 замкнутій 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 (розсіл, 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, °С	Тиск	
	МПа	кгс/см <sup>2</sup>
- 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.

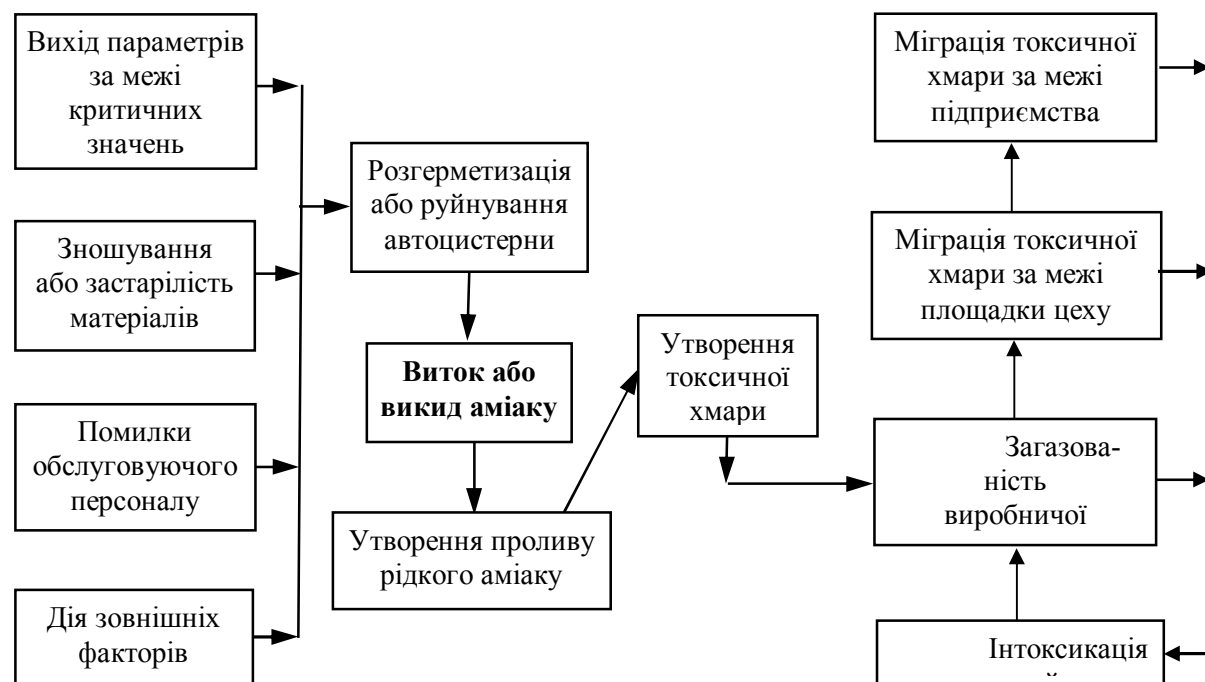


Рисунок 1 – Схема ймовірного сценарію розвитку аварії при зливі аміаку з автоцистерни

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 <sup>2</sup>	Площа прогнозованої зони зараження, м <sup>2</sup>	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 <sub>в</sub>	---	9,59
3	Загальна приведена маса горючого газу, m	кг	86,61
4	Категорія вибухонебезпечності	...	III
5	R <sub>1</sub>	м	4,7
6	R <sub>2</sub>	м	7,0
7	R <sub>3</sub>	м	12,0
8	R <sub>4</sub>	м	35,2
9	R <sub>5</sub>	м	61,5

R<sub>1</sub> – радіус зони повного руйнування будівель та смертельної небезпеки для людей, на межі якої надлишковий тиск по фронту ударної хвилі, ( $\Delta P \geq 100$  кПа);

R<sub>2</sub> – радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвал цегляних стін і смертельної небезпеки для людей, ( $\Delta P = 70$  кПа);

R<sub>3</sub> – 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);

R<sub>4</sub> – радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних прорізів, покрить, дахів) та тяжке травмування людей на відкритій місцевості, ( $\Delta P = 14$  кПа);

R<sub>5</sub> – 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 <sup>2</sup>	Площа прогнозованої зони зараження, м <sup>2</sup>	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 недосконалої системи 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.dnpr.kiev.ua> - Офіційний сайт Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду (Держгірпромнагляду).

*Надійшла до редколегії 14.02.2014.*